

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP03/12525

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 08 JAN 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 52 298.7

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

**Anmeldetag:**

11. November 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Prof. Dr. Dr. Albert Mehl, Holzkirchen/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder  
Zahnrestorationen unter Verwendung elektronischer  
Zahndarstellungen

**IPC:**

A 61 C 13/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

## **Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen unter Verwendung elektronischer Zahndarstellungen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines allgemeinen dreidimensionalen elektronischen Bildes eines Zahns und ein Verfahren zur Herstellung von Zahnmodellen, Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen reparaturbedürftiger Zähne bzw. Defektsituationen.

Für die Versorgung von Zahndefekten stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Eine Möglichkeit ist die direkte Applikation von Füllungsmaterial im Mund, d.h. der Zahnarzt entfernt die Karies und füllt das Loch in der gleichen Sitzung mit einem Füllungsmaterial. Diese Vorgehensweise wird vor allem bei kleineren Defekten gewählt. Für größere Defekte greift man eher auf Materialien wie Metall oder Keramiken etc.

zurück, die nicht direkt im Mund angefertigt werden können. Auch ist die Kauflächengestaltung im Mund bei größeren Defekten eher problematisch und schwer durchzuführen. Daher wird beim Zahnarzt nach erfolgter Präparation des Zahnes eine Abformung durchgeführt. Diese Abformung wird in ein zahntechnisches Labor gegeben und ein Gipsmodell erstellt. Unter Berücksichtigung der Gegenbezahnung und eventuell unter Einbeziehung der Kieferbewegungen in Form von Artikulatoren kann dann die entsprechende Zahnrestauration oder Zahnersatzteil angefertigt werden. Dies können z.B. Inlays, Onlays, Teilkronen, Kronen, Brücken, Teleskopkronen, Teilprothesen etc. sein.

Die Herstellung einer solchen Restauration ist allerdings sehr aufwendig. Nach der Abformung und Gipsmodellherstellung mit Zuordnung des Gegenkiefers erfolgt das Aufwachsen bzw. Sintern, Einbetten, Gießen oder Pressen, Ausarbeiten, Aufpassen und Polieren. Die hohe Anzahl der Schritte und die beschränkten technischen Möglichkeiten im zahntechnischen Labor führen dazu, dass zum einen sich Verarbeitungsfehler einschleichen können und die Materialqualität der fertigen Versorgung nicht optimal ist und zum anderen nicht alle Materialien gefertigt werden können (z.B. Hochleistungskeramiken). Zusätzlich führt der hohe Arbeitsaufwand auch zu hohen Kosten.

Als Alternative zur konventionellen Herstellungsweise wird inzwischen die CAD/CAM-Technologie gesehen, bei der mit Unterstützung von Computerverfahren die Anfertigung

von Zahnrestorationen und Zahnersatzteile durchgeführt wird. Vereinfacht gesprochen gliedert sich der Prozeß in:

1. dreidimensionaler Datenerfassung der Präparation bzw. mehrere Präparationen
2. Erzeugung eines CAD-Datensatzes der Zahnrestauration, d.h. Konstruktion bzw. Berechnung der Außenhülle und/oder interaktive Modellation der Außenhülle am Bildschirm
3. Bearbeitung des fertigen CAD-Datensatzes in einer computergesteuerten Fräs- bzw. Schleifmaschine (z.B. CNC) oder Rapid-Prototyping-Systemen.

Der Vorteil eines solchen Verfahrens liegt auf der Hand:

1. Kostenersparnis durch Automatisierung und damit Zeitersparnis
2. Verwendung industriell gefertigter Materialien. Diese können unter optimaleren Bedingungen als im Labor gesintert, gegossen etc. werden und weisen daher bessere Materialeigenschaften auf. Speziell für Keramiken und Titan sind diese Vorteile bereits eingehend untersucht worden.
3. Zahnersatz wird mit gleichbleibender Qualität produziert. Es kommt zu keinen Schwankungen durch Verarbeitungsfehler wie bei konventionellen Herstellungsprozessen.
4. Völlig neuartige Materialien wie Zirkonoxid-Keramiken etc, die bisher im konventionellen zahntechnischen Prozess nicht oder nur mit hohem Aufwand zu bearbeiten waren, lassen sich mit dem CNC-Verfahren anfertigen.

Einige Systeme sind bereits im Einsatz. Eine aktuelle Übersicht ist zum Beispiel der Ausgabe der ZWP (Dez. 2001, Mehl) zu entnehmen. Des weiteren werden in den Patentschriften US 5217375, EP 0643948, EP 0634150, EP 0913130 A2 und WO 0239056 solche Systeme bzw. einzelne Aspekte solcher Systeme beschrieben.

Ein Problem, das bisher nicht gelöst wurde, ist die möglichst automatisierte Herstellung von Zahnrestorationen, die bereits eine Kaufläche aufweisen, die allen funktionellen und morphologischen Kriterien einer Kaufläche entspricht und optimal an die Gegenzahnsituation angepasst werden kann.

Bei den meisten Systemen ist zur Zeit nur die Herstellung von Gerüsten möglich. Ähnlich der konventionellen Vorgehensweise, bei der man z.B. ein Metallgerüst mit Keramik oder Kunststoff verblendet (gilt auch für andere Materialien wie spezielle Keramik- oder Kunststoffgerüste), wird das Grundgerüst im CAD/CAM-Prozess erstellt und anschließend zumindest Teile der Kaufläche und noch fehlende Außenflächen konventionell mit Keramik, Komposit etc. verblendet. Diese Gerüste können z.B. in der CAD-Software (Konstruktionssoftware) durch Vergrößerung der Präparation bzw. Berechnung einer Oberfläche, die in einem bestimmten, wählbaren Abstand (=Schichtstärke des Gerüsts) zur Präparationsoberfläche liegt, erreicht werden. Zusätzlich ist noch die Einbeziehung von „Ausbuchtungen“ und „Deformationen“ möglich. In EP 0913130 A2 ist mit Fig.13b solch ein Vorgehen zu sehen.

Für die automatische Generierung einer Kaufläche, die nach allen gewünschten Kriterien und Anforderungen an eine gute Zahnrestauration bzw. Zahnersatzteil gestaltet ist, ist noch kein Verfahren vorhanden. Dies wäre jedoch von besonderer Bedeutung, da damit die Einsatzfähigkeit und die Kosteneffizienz eines CAD/CAM-Systems gesteigert und damit vor allem die CAD/CAM-Technologie überhaupt im großen Rahmen in der Zahnmedizin etabliert werden kann. Gleichzeitig muß mit diesem Verfahren auch die Möglichkeit bestehen, den berechneten Zahnersatz in einer Maschine anfertigen zu können.

Verschiedene Verfahren zur Kauflächengestaltung werden in der Literatur und in den Patentschriften beschrieben. Für die Rekonstruktion von Inlay-Flächen werden sowohl die Linearmethode als auch verschiedene Extrapolationsmethoden beschrieben (Mattiola, A., Mörmann, W.H. und Lutz, F.: "Computerunterstützte Okklusion von Cerec 2 Inlays und Overlays". Schweiz Monatsschr Zahnmed 105:1283-1290 (1995); Kunzelmann, K.-H., Mehl, A., Pelka, M.: Automatische Rekonstruktion von Kauflächen computergenerierter Restaurationen. Zahnärztl Welt/Rundschau 102, 695 – 703 (1993)). Bei der Linearmethode werden gegenüberliegende Punkte der Kavitätengrenze (meistens in oro-vestibulärer Richtung) einfach durch eine Gerade verbunden und so der Defekt aufgefüllt. Bei der Extrapolation wird die Steigung (Gradient) der noch vorhandenen Restzahnsubstanz in den Defekt hinein fortgesetzt und so die Oberfläche rekonstruiert. Es ist offensichtlich, das mit dieser Vorgehensweise nur angenähert etwas

kaufflächenähnliches entstehen kann. Die Einbeziehung morphologischer Kriterien und die Gegenbezahnungssituation ist nicht möglich. Gleichzeitig ist dieses Verfahren nur für relativ kleine Defekte geeignet.

5 Eine zweite Möglichkeit besteht in einer weiteren dreidimensionalen optischen Vermessung entweder der vorhandenen Kaufläche, bevor der Zahn beschliffen wird, oder einer individuell mit Wachs oder Kunststoff modellierten Kaufläche (z.B. Mattiola, A., Mörmann, W.H. und Lutz, F.: "Computerunterstützte Okklusion von Cerec 2 Inlays und Overlays". Schweiz Monatsschr Zahnmed 105:1283-1290 (1995), Mehl, A., Gloger, W.,  
10 Hickel, R.: Erzeugung von CAD-Datensätzen für Inlays und Kronen mit funktionellen Kauflächen. Dtsch Zahnärztl Z 52, 520-524 (1997)). Durch Anklicken oder Auswahl von Referenzpunkten an den Nachbarzähnen kann die Präparations- und die Kauflächenmessung zueinander positioniert und die vollständige Restauration ergänzt werden. Hier muß allerdings eine Wachsmodellation manuell erstellt werden, so dass der  
15 Vorteil der Automatisierung durch das CAD/CAM-System nicht mehr gegeben ist. In den meisten Fällen bei der Versorgung eines Zahnes wird die Ausgangskauffläche aufgrund vorhandener kariöser Defekte oder insuffizienter Versorgungen nicht verwendbar sein, so dass auch diese Möglichkeit nur für einen kleinen begrenzten Indikationsbereich beschränkt bleibt. Eine zusätzliche Möglichkeit wird in WO 0239056 vorgestellt. Hier  
20 wird ein Patientenarchivierungssystem z.B. Chipkarte für den Patienten, beschrieben, das beinhaltet, das Zahndaten gespeichert werden. Diese Zahndaten können dann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn beim Patienten Versorgungen angefertigt werden, wieder verwendet werden und für die Rekonstruktion des Defektes dienen. Hier wäre jedenfalls gewährleistet, dass die ergänzte Kaufläche morphologisch und funktionell optimal dem  
25 gnathologischen System angepaßt ist. Allerdings muss man bei diesen Verfahren mit entsprechenden Vorlaufzeiten rechnen, so dass vorerst für die Versorgungen einer breiten Masse andere Verfahren herangezogen werden müssen.

30 Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Zahnrestorationen wird in „Saliger, G., Designing a CEREC crown. In Cerec 10 year anniversary Smposium, ed. W.H. Mörmann. Quintessence, Chicago, 1996“ oder DE 19642247 beschrieben. Hier wird der Datensatz eines Modellzahnes an den präparierten Zahn angepasst und adaptiert. Im wesentlichen wird dieser Modellzahn entsprechend der mesial-distalen Ausdehnung des Defektes skaliert, translatiert und rotiert. Eine elastische Deformation kann das Ergebnis noch

verbessern. Bei Saliger 1996 (s.o) wird eine anschließende interaktive Möglichkeit der Rotation und der Kontrolle der Kaufläche zum Gegenzahn bereitgestellt. Zusätzlich können die Höcker in ihrer Position verändert werden. Dies erfolgt alles interaktiv. Zum Schluß wird dann die Zahnrestauration gefräst.

5

Das Problem bei solchen Vorgehensweisen liegt vor allem in folgenden Fakten begründet:

- Kontaktpunkte zum Gegenzahn werden erst im nachhinein festgelegt, indem durch interaktive Verzerrungen die Anpassung erfolgt oder der Modellzahn solange verändert wird, bis Berührungen mit der Hülle vorliegen. Dies führt oft zu völlig zahnuntypischen Formen, da der Modellzahn von Anfang an nicht optimal in die Gesamtsituation angepasst wird.
- Es gibt keine automatisiertes Vorgehen für die Auswahl eines besten Modellzahnes (falls mehrere zur Auswahl stehen). Bis jetzt erfolgt das nur auf Grund visueller Regeln.
- Die Arbeit und interaktive Veränderung am Monitor ist in ihrer Auswirkung im dreidimensionalen nur schwer vorstellbar und daher für einen mit der Computer-Arbeit weniger Erfahrenen nur nach langer Einübungszeit und täglicher Routine zu beherrschen.
- Die Morphologie der Nachbarzähne bzw. Antagonisten oder auch der entsprechende im gleichen Kiefer gegenüberliegende Zahntyp wird nicht herangezogen. Dies ist in manchen Fällen wichtig, um eine harmonische Eingliederung der Restauration in das Kiefersystem zu gewährleisten.
- Veränderungen des Modellzahnes durch Skalierung, Höckerpositionierung und interaktiven Deformationen müssen nicht unbedingt zu zahnähnlichen Oberflächen führen.
- Für alle interaktiven oder automatischen Anpassungen gibt es bis jetzt kein Verfahren, dass garantiert, dass nach Veränderung wieder eine einem natürlichen Zahn sehr ähnliche Kaufläche entsteht. Nachdem bis heute die Kriterien einer guten funktionell und statisch gestalteten Kaufläche wissenschaftlich noch nicht bekannt und auch nachgewiesen sind, muss die Forderung für jede Restauration lauten, dass sie möglichst nahe an natürliche Gegebenheiten und Formen angenähert wird, um so keine Langzeitschäden an den Zähnen, im Gewebe und im Gelenk zu verursachen.

10

15

20

25

30

Eine Überwindung vorausgehend angesprochener Probleme ist mit der vorliegenden Erfindung gelungen, welche die Herstellung von Zahnrestorationen, Zahnersatzteilen oder Zahnmodellen mit Kauflächen und/oder Oberflächen, die einem natürlichen Zahn sehr nahe kommen und sich funktionell und morphologisch optimal in die Kiefersituation einfügen, ermöglicht, wobei der Herstellungsvorgang mehr automatisiert werden kann, d.h. mit wesentlich weniger Interaktionen und fehlerfreier, d.h. benutzerfreundlicher ablaufen kann.

Unter Zahnersatzteile versteht man in dieser Patentschrift Teile oder die Gesamtheit von Total- oder Teilprothesen (z.B. Teleskopprothese, Klammerprothese, Interimsprothesen etc.) oder auch Implantataufbauten, unter Zahnrestorationen Brücken, Teleskopkronen (Primär- und Sekundärteile), Kronen, Inlays, Onlays, Overlays und Teilkronen. Zahnmodelle werden verwendet als Prothesenzähne, als eigenständige Modelle, als Bestandteile von Übungs-, Ausbildungs- und Anschauungsmodellen oder zur Darstellung in elektronischen Medien oder Printmedien.

Die Erfindung schafft einerseits Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Datensatzes eines für die Anfertigung eines Zahnersatzteils einer Zahnrestoration oder eines Zahnmodells verwendbaren Durchschnittszahns, wie es in Anspruch 1 angegeben ist. Die Erfindung schafft außerdem ein Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Datensatzes eines für die Anfertigung eines Zahnersatzteils, einer Zahnrestoration oder eines Zahnmodells verwendbaren generischen Zahnmodells, wie es in Anspruch 2 und 3 angegeben ist. Des weiteren schafft die Erfindung Verfahren zur Herstellung von Zahnmodellen, Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen, wie sie in den Ansprüchen 4, 5, 9, 21, 22 und 26 angegeben sind. Eine Verwendung des Verfahrens zur Herstellung eines dreidimensionalen elektronischen Bildes Durchschnittszahns bzw. des Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Datensatzes generischen Zahnmodells ist in Anspruch 8 angegeben. Eine Verwendung einer numerisch gesteuerten Maschine zur Herstellung von Zahnmodellen, Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen, indem die Maschine entsprechend mit einem erfindungsgemäß erhaltenen Datensatz gesteuert wird, ist in Anspruch 29 angegeben. Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Verfahren sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. In Anspruch 30 und 31 wird eine Vorrichtung zur Visualisierung, Anpassung und Justierung eines generischen Zahnmodell Datensatzes angegeben.

Ein auf erfindungsgemäße Weise erhaltenes elektronisches Bild eines Durchschnittszahns oder der Datensatz eines generischen Zahnmodells eignet sich besonders gut als Ausgangsbasis für die Herstellung eines Zahnersatzteils, einer Zahnrestauration oder eines Zahnmodells, weil der Durchschnittszahn oder noch allgemeiner der generische Zahnmodelldatensatz im Gegensatz zu einem herkömmlichen elektronischen Zahnmodell nicht von mehr oder weniger mit der Natur übereinstimmenden Vorstellungen des Autors des elektronischen Zahnmodells basiert sondern von realen Zähnen bestimmt ist.

Wenn man beispielsweise eine Restauration für einen reparaturbedürftigen Zahn unter Zuhilfenahme eines erfindungsgemäß erhaltenen elektronischen Durchschnittszahns bzw. generischen Zahnmodells herstellt, gibt die in dem Durchschnittszahn bzw. generischen Zahnmodells zum Ausdruck kommende natürliche Zahnform den Ausschlag und nicht ein menschlicher Vorstellung entsprungenes Zahnmodell.

Bei der Herstellung beispielsweise einer Zahnrestauration kann man den erfindungsgemäß erhaltenen Durchschnittsdatensatz bzw. das generische Zahnmodell als Ausgangsbasis nehmen und diese Datensätze unter Anpassung an bestehen gebliebene Zahnflächenteile des reparaturbedürftigen Zahns oder der Restgebissituation an den jeweils zu reparierenden Zahn anpassen, indem per interaktiven Eingriff oder durch softwaregesteuerte Automatik diese Datensätze abgewandelt werden, um die genannte Anpassung an die Zahnflächenreste des zu reparierenden Zahns oder der den zu reparierenden Zahn umgebenden Restgebissituation vorzunehmen.

Besonders gute Ausgangsbedingungen erhält man für den generischen Zahnmodelldatensatz. Daher sehen das Verfahren gemäß Anspruch 2 und das Verfahren gemäß Anspruch 1 weiterbildende Verfahren gemäß Anspruch 3 vor, dass auf der Grundlage einer Korrespondenzanalyse eine Hauptachsenanalyse und eine Linearkombination in der in diesen Ansprüchen beschriebenen Weise durchgeführt werden, aus denen ein generischer Zahnmodelldatensatz erstellt wird. Mit Hilfe des generischen Zahnmodells lässt sich der Rahmen fest legen, innerhalb welchem eine Anpassung des Modelldatensatzes an das elektronische Bild der Reststruktur des zu reparierenden Zahns möglich ist, ohne sich aus dem Formenvorrat natürlicher Zahnformen weg zu bewegen. Die Anpassung des generischen Zahnmodelldatensatz an



den zu reparierenden Teil des reparaturbedürftigen Zahns kann auf interaktive Weise oder auch vollautomatisch mittels Softwaresteuerung und -verarbeitung geschehen. Steuert man eine numerisch gesteuerte Maschine entsprechend einem auf diese Weise erhaltenen Datensatz, kommt man zu einem physischen Zahnteil, welches dem Aussehen der  
5 ehemaligen unversehrten Zahnfläche des zu reparierenden Zahns besonders gut nahe kommt, wobei man dieses Ergebnis auch auf für den Zahnmediziner oder Zahntechniker vergleichsweise einfache Weise erreichen kann.

Die Verfahren nach den Patentanspruch 1 bis 5 befassen sich mit der Schaffung einer oder  
10 zumindest sehr weniger generischer Zahnmodelldatensätze oder Durchschnittszähne eines bestimmten Zahntyps (z.B. OK-6er, oder auch großer, mittlerer und kleiner OK-6er, etc.). Diese Oberflächen erlauben schon für viele Situationen eine ausreichende zahnähnliche Rekonstruktion. Weiterhin ermöglicht der generische Zahnmodelldatensatz, das jede  
15 Veränderung, die unter gewissen Kriterien (siehe unten) an dieser Oberfläche durchgeführt wird, mit hoher Wahrscheinlichkeit wiederum eine natürliche Kaufläche ergibt und dass alle möglichen zugelassenen Varianten an Veränderungen die Gesamtheit nahezu aller in der Natur vorkommenden Zahnmorphologien beschreibt. Die Anzahl der Anpassungsvariablen ist dabei gering und die Rekonstruktion von Zahnoberflächen kann automatisiert werden.

Die Erzeugung dieses generischen Zahnmodelldatensatzes oder der  
Durchschnittszahnfläche erfolgt dabei über eine möglichst große Anzahl von Datensätzen desselben Zahntyps. Im allgemeinen können die elektronischen Datensätze sowohl zwei-  
25 als auch dreidimensional vermessen sein. Zweidimensionale Vermessung geht z.B. mit der metrischen Photographie, dreidimensional z.B. mit Weißlicht-Streifenprojektion etc., auch Stereophotogrammetrische Verfahren wären denkbar. Zur Rekonstruktion von reparaturbedürftigen Zähnen und Defektsituationen benötigt man jedoch zumindest dreidimensional vermessene Datensätze. Beim Zahntyp kann es sich zum Beispiel um Molaren, Prämolaren, Eckzähne und Frontzähne handeln. Als Zahntyp kann aber auch der  
30 Oberkiefer(OK)-6er, Unterkiefer(UK)-4er, OK-1er etc. stehen. Möglich ist des weiteren eine Unterscheidung nach Alter und Abrasion, nach Geschlecht, nach Volkszugehörigkeit, nach Größe der Zähne, nach morphologischen Besonderheiten etc, z.B. können die Gruppen OK-7er im Alter von 50-60 Jahren, OK-6er mit und ohne Tuberculum Carabelli, UK-3er bei weiblichen Personen, Unterteilung in große, mittlere, kleine 6er etc. ein

Beispiel für einen Zahntyp darstellen. Auch können z.B. benachbarte Zähne zu einem (kombinierten) Zahntyp zusammengefasst werden, um Zusammenhänge von Nachbarzähnen zu integrieren oder zu analysieren. Durch die Information des Nachbarzahnes könnte z.B. die Auswahl der Zahnoberfläche für den reparaturbedürftigen Zahn oder für die Defektsituation erfolgen. Der Begriff Zahntyp umfasst also eine je nach Aufgabenstellung sehr variable Gruppierungsmöglichkeit, was bei den Patentansprüchen in ihrer Allgemeinheit zu beachten ist.

Für einen bestimmten Zahntyp müssen die jeweiligen Datensätze in einem ersten Schritt zueinander referenziert werden (ins gleiche Koordinatensystem gebracht und ungefähr gleichmäßig ausgerichtet werden) und zwischen den Oberflächenpunkten des einen Datensatzes mit den jeweils anderen Datensätzen Korrespondenzen aufgebaut werden. Diese Korrespondenzen erfolgen z.B. zwischen markanten Punkten und Strukturen der Oberfläche. Wahlweise ist hier ein Prozeß vorzuziehen, der diese Korrespondenzpunkte und/oder -strukturen automatisch findet, da bis jetzt noch kein bewiesener metrisch erfaßbarer Sachverhalt vorliegt, welche wirklich die markanten Punkte bzw. Strukturen oder Eigenschaften eines bestimmten Zahntyps sind. Im Gegenteil, es gibt bis jetzt in der gesamten zahnmedizinischen Fachliteratur keinen Hinweis auf eine nur annähernde mathematische Beschreibung von Zahnoberflächen, die in irgendeiner Weise für den CAD/CAM-Prozess geeignet wäre.

Als eine möglich Implementierungsvariante hat sich folgendes Vorgehen als machbar erwiesen: Zuerst werden die Datensätze der vermessenen Zahnoberflächen eines bestimmten Zahntyps ins gleiche Koordinatensystem gebracht, um eine möglichst gute Ausgangsbasis für die automatische Korrespondenzpunktbestimmung zu bekommen. Dies kann mit Matching-Routinen durch Minimierung der Abstandsfehlerfunktion erfolgen, wobei Rotations- und Translationsparameter ermittelt werden. Nach erfolgter Koordinatentransformation findet die Korrespondenzanalyse statt. Aus der Bildverarbeitung können hier modifizierte Algorithmen zum optischen Fluß mit Erfolg angewandt werden. Am Schluß erhält man die Zuordnung aller Punkte durch Korrespondenzen zwischen allen Datensätzen.

Genauer wird dies im Folgenden spezifiziert. Ausgangsbasis sind m Bibliothekszahnflächen eines bestimmten Zahntyps, entnommen einer Zahnbibliothek, in

der Form  $z_j(x, y)$ , mit  $j = 1, \dots, m$  als Scandaten. Genauso erlaubt sind parametrische Darstellungen  $z_j(u, v)$ , mit  $u = u(x, y)$ ,  $v = v(x, y)$ . Dies können z.B. Polarkoordinaten etc. sein. Beliebige komplizierte dreidimensionale Oberflächen mit Unterschneidungen können stückweise durch obige Funktionen angenähert werden.

5

Ausgehend von einem Referenzzahn  $z_R(x, y)$ , mit  $R \in \{1, \dots, m\}$ , wird mittels einer Korrespondenzanalyse zu jedem Punkt des Referenzzahnes der korrespondierende Punkt auf der Kaufläche  $z_j(x, y)$  gesucht. Es wird hierzu ein Algorithmus verwendet, der diese Korrespondenzen automatisch ohne Vorkenntnisse auffindet, wie in Patentanspruch 6 spezifiziert. Eine Möglichkeit ist das Verfahren des optischen Flusses (für beliebige 3D-Objekte sind auch andere Möglichkeiten beschrieben in Shelton, C.R.: 3D Correspondence. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1998). Als Ergebnis erhält man ein zu jedem Zahn  $z_j(x, y)$  gehöriges zweidimensionales Vektorfeld  $\bar{v}_j(x, y)$  mit:

10

$$\bar{v}_j(x, y) = \begin{pmatrix} \Delta x_j(x, y) \\ \Delta y_j(x, y) \end{pmatrix}$$

15

so daß zu jedem Koordinatenpaar  $(x, y)$  des Referenzzahnes  $z_R(x, y)$  sich der korrespondierende Punkt des Zahnes  $z_j(x', y')$  aus der Beziehung:

$$z_j(x + \Delta x_j(x, y), y + \Delta y_j(x, y))$$

ergibt. Bei Zahnoberflächen ist es sinnvoll, neben der Glattheit des Verschiebungsfeldes bezüglich der z-Koordinaten, auch die Glattheit bezüglich der Steigungen zu fordern, da Steigungen auch ein wesentliches Merkmal der Kauflächen darstellen. Auch kann man bei der Vorgehensweise der Korrespondenzanalyse versuchen, nach jeder neuen Korrespondenzfindung diesen Datensatz zu den schon korrespondierenden Datensätzen hinzuzufügen und daraus eine neue Linearkombination suchen, die den nächsten Datensatz, der noch nicht korrespondiert, möglichst gut annähert. Diese neue Linearkombination kann dann zur automatischen Korrespondenzfindung herangezogen werden. So können iterativ alle Datensätze in Korrespondenz gebracht werden.

25

30

Nachdem nicht alle Punkte einer Oberfläche eindeutig den Punkten der anderen Oberfläche zugeordnet werden können, kann man fordern, dass sich das Verschiebungsfeld bildlich wie eine elastische Membran verhält: Zwischen den eindeutigen Korrespondenzen ist diese Membran nahezu nicht verschieblich, während sie dazwischen, d.h. in den Bereichen mit unklaren oder schwachen Korrespondenzen, sich nahezu frei entspannen kann. Berechnet werden kann dies zum Beispiel durch Minimierung einer Energiefunktion, die aus einer Kopplung von vielen Federn zwischen den einzelnen Oberflächenpunkten besteht (Näherung für die kontinuierliche elastische Membran).

Eine interessante Erweiterung für die Berechnung des optischen Flusses besteht darin, dass man neben der 3D-Datenrepräsentation  $z(x, y)$  weitere Kriterien oder Oberflächenbeschreibungen für die Korrespondenzanalyse heranzieht, wie in Patentanspruch 7 ausgewiesen. Dies könnte zum Beispiel das Gradientenfeld (Steigungen) der Zahnoberfläche sein. Gradienten beschreiben bestimmte Merkmale wie Kanten, Ecken oder stärkere Änderungen auf der Oberfläche besser als die reinen Höhendaten. Indem man nun einen neuen Merkmalsvektor  $\vec{m}$  mit

$$\vec{m} = \begin{pmatrix} z(x, y) \\ \nabla z(x, y) \end{pmatrix}$$

bildet und eine neue Norm für diesen Merkmalsraum einführt:

$$\|\vec{m}\|^2 = z^2(x, y) + \beta \cdot (\nabla z(x, y))^2$$

wobei  $\beta$  die Gewichtung des Gradientenfeldes im Verhältnis zum Höhenbild festlegt, so kann das Verschiebungsfeld  $\vec{v}(x, y) = (\Delta x(x, y), \Delta y(x, y))^T$  für den Merkmalsvektor  $\vec{m}$  analog zu oben berechnet werden, wenn man die Normen  $\|\vec{m}_x\|^2$  und  $\|\vec{m}_y\|^2$  und die jeweiligen Skalarprodukte  $\langle \vec{m}_x, \vec{m}_y \rangle$  bzw.  $\langle \vec{m}_x, \Delta \vec{m} \rangle$  verwendet. Natürlich könnte man sich auch mehrdimensionale Merkmalsvektoren vorstellen, indem man noch weitere Eigenschaften der Zahnoberfläche mit berücksichtigt. Dies könnten zum Beispiel

Texturwerte, Krümmungen etc. sein. Der Gewichtungsfaktor  $\beta$  (oder weitere Gewichtungsfaktoren) erlaubt die Möglichkeit, den jeweiligen Einfluss der einzelnen Merkmalsfelder festzulegen. Mit all diesen Maßnahmen liegt ein starkes Werkzeug vor, dass für die Zahnoberflächen eine automatische, ohne Vorkenntnisse erfordernde Analyse von Korrespondenzen ermöglicht.

Sind diese Zuordnungen gefunden, kann in einem nächsten Schritt der Referenzzahn als Vektor in einem  $3n$ -dimensionalen Raum repräsentiert werden ( $n$  ist dabei die Anzahl der ausgewählten auf der Zahnoberfläche liegenden Punkte, idealerweise wird man ein äquidistantes Gitter zugrundelegen, die typische Anzahl von Punkten kann von 10000-200000 gehen) :

$$\bar{D}_R = (x_1, y_1, z_R(x_1, y_1), x_2, y_2, z_R(x_2, y_2), \dots, x_n, y_n, z_R(x_n, y_n))$$

In konsistenter Weise können dann ausgehend vom Referenzzahn (oder der Linearkombination) und dem entsprechenden Vektorfeld  $\bar{v}_j(x, y)$  alle anderen Zähne der Bibliothek als  $3n$ -dimensionaler Vektor dargestellt werden:

$$\begin{aligned} \bar{D}_j = & (x_1 + \Delta x_j(x_1, y_1), y_1 + \Delta y_j(x_1, y_1), z_j(x_1 + \Delta x_j(x_1, y_1), y_1 + \Delta y_j(x_1, y_1)), \\ & x_2 + \Delta x_j(x_2, y_2), y_2 + \Delta y_j(x_2, y_2), z_j(x_2 + \Delta x_j(x_2, y_2), y_2 + \Delta y_j(x_2, y_2)), \dots, \\ & x_n + \Delta x_j(x_n, y_n), y_n + \Delta y_j(x_n, y_n), z_j(x_n + \Delta x_j(x_n, y_n), y_n + \Delta y_j(x_n, y_n))) \end{aligned}$$

Auf diese Weise repräsentieren gleiche Vektorkoordinaten, d.h. Indizes, auch jeweils korrespondierende Punkte und zwar zwischen allen Zähnen. Die Gesamtheit der  $m$  Vektoren, die den  $m$  Bibliothekszähnen entsprechen, spannen einen Raum auf, den man als den Zahnraum für den entsprechenden Zahntyp bezeichnet. Damit läßt sich nun auch der Durchschnittszahn  $\bar{D}$  aus den einzelnen umgeformten Bibliothekszähnen  $\bar{D}_j$  berechnen:

$$\bar{D} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \bar{D}_j$$

Man kann an dieser Stelle den neuen Durchschnittszahn wiederum als Referenzzahn verwenden und obigen Prozeß nochmals neu starten und auch öfters wiederholen. Damit kann der Durchschnittszahn noch allgemeiner bestimmt werden. Oder man nimmt verschiedene Referenzzähne und mittelt nachher das Ergebnis. Im Patentanspruch 1 wird dieser Durchschnittssatzen als Durchschnittszahn einer bestimmten Zahngruppe (Zahntyp) zur Verfügung gestellt (Fig. 9).

Liegen die einzelnen Zahnoberflächen als Vektoren vor, ist es mit hoher Wahrscheinlichkeit möglich, jeden neu hinzugekommenen Zahn  $\bar{Z}$  als Linearkombination der vorhandene Zähne zu repräsentieren:

$$\bar{Z} \approx \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot \bar{D}_j$$

Um die Anzahl der Linearfaktoren  $\beta_j$  und der Zähne  $\bar{D}_j$  zu reduzieren, bietet sich die Hauptachsenanalyse an. Nachdem jeder Zahntyp für den Experten durch bestimmte Merkmale erkennbar ist, sollten durch die Hauptachsentransformation auch diejenigen Komponenten großen Einfluss haben, die bestimmte Merkmale des Zahntyps charakterisieren. So erhält man durch die Linearkombination eines Teils der Hauptachsen eine ausreichende Beschreibung der meisten Zahnoberflächen. Diese Hauptachsenanalyse kann auf den Zahndaten  $\bar{D}_j$  direkt durchgeführt werden, wie im Patentanspruch 2 ausgeführt. Der verwendete Anteil  $p$  der sich ergebenden Hauptachsen (in der Regel die, die am meisten zur Varianz beitragen) wird durch Linearkombination (Linearfaktoren  $a_i$  und Hauptkomponenten  $\bar{P}_i$ ) mathematisch wie folgt verknüpft:

$$\bar{Z} \approx \sum_{i=1}^p a_i \cdot \bar{P}_i \quad (\text{Gl. 1})$$

Wie im Patentanspruch 3 ausgeführt, kann man, bevor die Hauptachsenanalyse bei den Zahnvektoren durchgeführt wird, den Vektorraum so verschieben, das der Mittelwert 0 ergibt. Dies erhält man durch Differenzbildung zwischen den einzelnen Zahnvektoren und dem Durchschnittszahn. Die entstandenen Differenzvektoren können dann ebenfalls durch Hauptkomponentenverfahren analysiert werden. Insgesamt bekommt man durch diese Verfahren mit wenigen veränderbaren Parametern eine ausreichend effiziente

Beschreibung neuer Zahnformen, die sich als Linearkombinationen dieser neuen Parameter (Linearfaktoren) und Hauptachsen darstellen lassen. Der entscheidende Vorteil ist, dass bei Veränderung der Parameter mit hoher Wahrscheinlichkeit einer der vorhandenen natürlichen Zahndaten angenähert wird. Die anzufertigende Restauration wird also zahnähnlich sein und die Gefahr unschöner Kauflächen ist gebannt.

Im folgenden wird die Hauptachsenanalyse bei den Zahnvektoren für den Fall genauer beschrieben, für den der Durchschnittszahn subtrahiert wird, d.h. der Vektorraum der Zähne so verschoben wird, dass der Mittelwert 0 ergibt. Damit sind auch nach der Hauptachsenanalyse die Mittelwerte der Hauptachsen (Eigenvektoren) 0. Es wird von jedem Zahnvektor  $\vec{D}_j$  der Durchschnittszahn  $\vec{D}$  abgezogen und eine neuer Differenzvektor  $\vec{\Delta}_j$  gebildet:

$$\vec{\Delta}_j = \vec{D}_j - \vec{D}$$

Die Hauptachsenanalyse liefert dann die Eigenwerte  $\lambda_k$  mit den zugehörigen Hauptachsen (Hauptkomponenten, Eigenvektoren)  $\vec{P}_k$ ,  $k=1, \dots, m$ . Folgende Eigenschaften ergeben sich:

1. Die Eigenwerte  $\lambda_k$  entsprechen den Varianzen in Richtung der Hauptachse  $\vec{P}_k$
2. Die Summe der Eigenwerte  $\lambda_k$  entspricht der Summe der Varianzen von  $\vec{\Delta}_j$ , also der gesamten Varianz von  $\vec{\Delta}_j$ . Nachdem eine Mittelwertverschiebung keinen Einfluß auf die Varianz der Werte hat, entspricht daher die Summe der Eigenwerte  $\lambda_k$  der Gesamtvarianz von  $\vec{D}_j$ .
3. Der Anteil einer Hauptkomponente  $\vec{P}_k$  an der Gesamtvarianz der Datensätze ist gegeben durch:

$$\lambda_k / \sum_{l=1}^m \lambda_l$$

4. Der Anteil der ersten  $p$  Hauptkomponenten  $\vec{P}_k$  an der Gesamtvarianz ist analog gegeben durch:

$$\sum_{l=1}^p \lambda_l / \sum_{l=1}^m \lambda_l$$

- 5 Bei den Oberkiefermolaren zeigt sich zum Beispiel, daß die ersten 7 Hauptkomponenten ca. 70% der Gesamtvarianz von 170 Zähnen beschreiben.

Ein Großteil aller möglichen Zahnoberflächen  $\bar{Z}$  läßt sich nun relativ genau annähern durch eine Linearkombination der ersten p Hauptkomponenten  $\bar{P}_k$  ( $\alpha_i$  sind die Linearfaktoren):

$$\bar{Z} \approx \bar{D} + \sum_{l=1}^p \alpha_l \cdot \bar{P}_l \quad (\text{Gl. 2})$$

- Wenn man sinnvolle Randbedingungen an die Parameter  $a_i$  (Gl. 1) bzw.  $\alpha_i$  (Gl. 2) stellt
- 15 (z.B. dass der neue Zahn sich innerhalb des von den vorhandenen Zähnen aufgespannten Raumes befindet oder zumindest nicht allzu weit entfernt liegen sollte), wird jede beliebige Linearkombination nach (Gl. 1) oder (Gl. 2) wiederum einen Zahn beschreiben. Ein Zahndatensatz, der allgemein durch eine Linearkombination von Hauptachsen und evtl. Addition von Durchschnittszahn erzeugt wird, wird in dieser Patentschrift als
- 2 generischer Zahnmodelldatensatz oder als generisches Zahnmodell bezüglich des betrachteten Zahntyps bezeichnet. Synonym dazu und im abstrakten Sinne wird ebenfalls in dieser Patentschrift der generische Zahnmodelldatensatz oder das generische Zahnmodell bezüglich des betrachteten Zahntyps aufgefasst als eine Kombination von
- 25 Datensätzen der ausgewählten Hauptachsen und evtl. dem Durchschnittszahn. Diese Kombination kann man sich physisch z.B. vorstellen entweder als einzelne Datensätze, die durch Verknüpfungen oder Verweise verbunden sind, oder durch Zusammenfügung zu einem großen Datensatz. Wird nun eine Repräsentation dieses generischen Zahnmodells oder generischen Zahnmodelldatensatzes gewünscht, müssen nur die speziellen
- 30 Linearfaktoren mit den Hauptachsen multipliziert und evtl. der Durchschnittszahn addiert werden. Das generische Zahnmodell oder der generische Zahnmodelldatensatz (im folgenden zum Teil auch als „generischer Zahn“ abgekürzt) stellt also eine Art



mathematische Beschreibung des gesamten Zahnraumes des entsprechenden Zahntyps dar.

Wie in Patentanspruch 4 und 5 beschrieben, lässt sich der Rekonstruktionsvorgang für den reparaturbedürftigen Zahn bzw. der Defektsituation mittels des Durchschnittszahnes oder des generischen Zahnmodells durchführen und auch weitgehend automatisieren.

Rekonstruktion bedeutet die vollständige oder zumindest teilweise Wiederherstellung der fehlenden Außenhülle des reparaturbedürftigen Zahnes oder der Defektsituation. Beim reparaturbedürftigen Zahn kann es sich um Inlay-, Onlay-, Overlay-, Teilkronen-, Kronen-, Brückenpräparationen etc. handeln, bei der Defektsituation geht es um das Auffüllen von Bereichen mit fehlenden Zähnen, z.B. Brückenzwischenglieder, Implantataufbauten oder Teilen von Teilprothesen bzw. Totalprothesen. Bei dem Begriff der Restgebissituation handelt es sich in dieser Patentschrift um die vermessene Information (insbesondere Datensätze) von präpariertem Zahn oder Zähne (reparaturbedürftiger Zahn oder Zähne) oder Defektsituation und die zusätzliche wahlweise Einbeziehung von vermessener Information der Restzahnsubstanz, des Gegenkiefer, des funktionellen und statischen/okklusalen Bissregistrats, des Nachbarzahns/ der Nachbarzähne und/oder des Zahnfleischanteils bzw. des Kieferkamms. Beim Gegenkiefer ist in der Regel nur die Einbeziehung von einem oder mehreren Gegenzähnen, d.h. dem Zahn oder der Zähne, die dem reparaturbedürftigen Zahn oder der Defektsituation gegenüberliegen, ausreichend. Der Begriff Gegenzahn ist synonym zum Fachbegriff Antagonist zu stehen. In dieser Patentschrift werden jedoch zusätzlich unter dem Begriff Gegenzahn auch Teile des Gegenkiefers oder der gesamte Gegenkiefer subsumiert. Wählt man an der betreffenden Präparation bzw. Defektsituation und umgebender Restgebissituation bestimmte Konstruktionspunkte bzw. Korrespondenzpunkte oder Korrespondenzstrukturen, z.B. Höckerspitzen oder Randleistenpunkte auf Restzahnsubstanz und/oder mögliche Kontaktpunkte mit dem Gegenzahn oder Nachbarzahn (Fig. 9 – 11), so kann bei Kenntnis der entsprechenden Korrespondenzpunkte und -Strukturen am generischen Zahnmodell, Durchschnittszahn etc. die Rekonstruktion bestmöglich durch Optimierungsprozesse durchgeführt werden. Beim Durchschnittszahn werden in der Regel Rotations-Translations-, -Skalierungs- und evtl. auch affine Transformationsparameter durch Minimierungsprozesse ermittelt. Beim generischen Zahn erfolgt zusätzlich noch die optimierte Anpassung der Parameter (Linearfaktoren) der Hauptachsen so, dass das Einfügen des generischen Zahnes, der entsprechend der Parameter verändert wurde,

bestmöglich erfolgt. Wahlweise können in diesen Prozeß auch Nebenbedingungen eingebaut werden, wie z.B. Begrenzung der Größe der Parameter, damit das Ergebnis nicht weit außerhalb des Zahnraumes liegt, oder die Bedingung, dass die Gegenkaufläche oder funktionelles Registrat nicht durchdrungen werden darf, an den Kontaktpunkten sich aber berührt. Auch können Qualitätsparameter wie minimale Schichtstärken für ein Material oder belastungsoptimiertes Oberflächendesign mit berücksichtigt werden.

Neben den einzelnen Korrespondenzpunkten können aber auch alle vorhandenen Restzahnflächen (z.B. bei Inlays, Onlays, Teilkronen), oder auch Korrespondenzstrukturen, d.h. bestimmte charakteristische Areale und Formen, in ihrer Gesamtheit hergenommen und alle Punkte dieser Restzahnflächen und/oder Strukturen zur Korrespondenz genommen werden. Dies kann z.B. analog zu oben wiederum mit dem Verfahren des optischen Flusses durchgeführt werden. Ein andere Möglichkeit ist das Matching mit Optimierung der Parameter entsprechend einer Gütefunktion (z.B. Abstandsfunktion). Entscheidend dabei ist wiederum, dass der Zahn nicht irgendwie deformiert wird, sondern entlang den Hauptachsen und damit im Bereich der Form natürlicher Zähne bleibt.

Im allgemeinen werden die generische Kaufläche und Datensätze der Defektsituation bzw. des reparaturbedürftigen Zahns nicht im gleichen Koordinatensystem liegen. Daher müssen bei der generischen Kaufläche neben den Parametern entlang der Hauptachsen (Linearfaktoren) zumindest auch die Rotation und Translation bestimmt werden. Die Einbeziehung einer Skalierung ist möglich, aber hier nicht unbedingt sinnvoll, da dieser Faktor bereits in der Hauptachsenrepräsentation integriert sein sollte. Eine Möglichkeit der Problemlösung besteht darin, den Anpassungsprozess in zwei Stufen zu durchlaufen:

1. Rotation und Translation des Durchschnittszahnes in das Koordinatensystem des Defektzahnes anhand der Korrespondenzpunkte und/oder Restzahnsubstanz. Dies kann mit z.B. dem Algorithmus nach Umeyama (Umeyama S.: Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns. IEEE PAMI 13(4); 276-280, 1991) durchgeführt werden, wobei man den Skalierungsfaktor gleich 1 setzt.

2. Verbesserung der Anpassung der Korrespondenzpunkte durch Optimierung der Hauptachsenparameter (evtl. ergänzt durch lineare Faktoren der Rotation und Translation etc. ).

5 Der Vorteil ist, dass man für beider Stufen direkte Lösungsverfahren einsetzen kann. Im allgemeinen Fall (auch einstufige Lösung) können natürlich auch bekannte nichtlineare iterative Lösungsverfahren eingesetzt werden (z.B. Gradientenabstiegsmethode, Levenberg-Marquardt etc.).

10 Wurde der ursprüngliche Datensatz der Restzahnschubstanz und/oder Korrespondenzpunkten in das Koordinatensystem des Durchschnittszahnes translatiert und rotiert, bestehen mit den Eigenschaften der generischen Zahnoberfläche bestmögliche Ausgangsbedingungen für die Rekonstruktion von Zahnoberflächen. Die Aufgabe besteht darin, die Parameter (Linearfaktoren)  $\alpha_i$  so zu bestimmen, daß die sich ergebende

15 Linearkombination (d.h. neue Kaufläche) möglichst gut an die vorhandene Situation anpasst. Dies erfolgt z.B. durch Minimierung einer Fehlerfunktion.

Eine weitere Optimierung der Anpassung besteht darin, nur solche Linearkombinationen zuzulassen, die eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit aufweisen, d.h. die möglichst typische Zahnformen des Zahnraums bevorzugen. Damit soll das Ergebnis mit hoher

20 Wahrscheinlichkeit in der konvexen Hülle der Zahndaten liegen. Es ist in diesem Zusammenhang alternativ denkbar, eine wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtungen mit einzubeziehen. Folgende Bedingungen sollten berücksichtigt werden:

- 25 a) Die gesuchte Kaufläche sollte im Raum der Zahnoberflächen eine möglichst hohe Wahrscheinlichkeit aufweisen, d.h. ihre Form sollte möglichst typisch für eine Kaufläche sein.
- b) Die gemessenen Punkte können Meßfehler aufweisen (z.B. durch Messung oder durch Anklicken). Damit ein Meß- oder Bearbeitungsfehler bei der Auswahl der Kaufläche nicht übermäßig gewichtet wird, wird man auch hier eine Wahrscheinlichkeit für einen Messpunkt, abhängig vom Rauschen oder Fehlerquellen,
- 30 berücksichtigen.

Ein solcher Ansatz könnte zu folgender Maximierung der Wahrscheinlichkeit führen:

$$P(\bar{c} | \bar{z}_{real}) = const \cdot P(\bar{z}_{real} | \bar{c}) \cdot P(\bar{c})$$

$$= const \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \|M\bar{c} - \bar{z}_{real}\|^2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \|\bar{c}\|^2}$$

Diese Wahrscheinlichkeit wird maximal, wenn die Gütefunktion E minimal wird:

$$E = \|M\bar{c} - \bar{z}_{real}\|^2 + \gamma \cdot \|\bar{c}\|^2 = \min, \quad \gamma = \frac{1}{\sigma^2}$$

5 mit

$$\bar{z} = \sum_{l=1}^p \lambda_l c_l \bar{p}_l = M\bar{c},$$

mit der Matrix  $M = (\lambda_1 \bar{p}_1, \lambda_2 \bar{p}_2, \dots, \lambda_p \bar{p}_p)$ , und der Messfehler mit einer Varianz von  $\sigma^2$ .

10 Die ermittelte optimale generische Zahnoberfläche wird sich schon sehr gut in die  
gegebene Restgebissituation einfügen. Bei der Restgebissituation handelt es sich um die  
vermessene Information (insbesondere Datensätze) von präparierten Zahn inkl.  
Restzahnsubstanz, Gegenkiefer, funktionelles und statisches Bissregistrat, Nachbarzähne  
und/oder auch vom Zahnfleischverlauf und Kieferkamm. Allerdings werden sich in der  
15 Regel noch kleinere Differenzen ergeben, wie z.B. kleine Stufen oder Lücken beim  
Übergang zur Restzahnsubstanz, zu hohe Stellen, die das Bissregistrat oder den  
Nachbarzahn durchdringen, noch fehlende Kontaktpunkte etc. Ausserdem müssen unter  
Umständen noch fehlende Flächenanteile wie Approximalflächen, Oral- und  
Vestibulärflächen ergänzt werden. Diese zusammengefasst als Anpassung bezeichneten  
20 Vorgänge, die meistens nur geringfügige Änderungen beinhalten, liefern dann den  
fertigen Datensatz, der für die Steuerung einer Maschine benutzt wird.

In Patentanspruch 8 wird die Verwendung dieser ermittelten Datensätze für die physische  
Herstellung beschrieben. Im Prinzip sind alle möglichen automatisierten  
25 Fertigungsverfahren wie CNC-Fräsen oder -schleifen, Laserbearbeitung,  
Stereolithographie oder lithographische Sinterverfahren einsetzbar. Die Materialpalette für  
die Zahnrestauration, Zahnersatzteile oder Zahnmodelle kann von Kunststoff über Metalle  
(Titan, Gold, Stahl etc.) bis zu Keramik reichen. In der Zahnmedizin sind bereits eine  
Reihe von Materialien speziell für den CAD/CAM-Prozess verfügbar.

Patentanspruch 9 beinhaltet den gesamten Herstellungsprozess von Vermessung bis Produktion. Oben aufgeführte Implementierungsvarianten können hier analog eingesetzt werden. Aus der Beschreibung und den Zeichnungen kann ein Fachmann weitere Varianten, die hier nicht einzeln aufgeführt sind, ableiten, so dass auch diese in die Patentschrift als vollumfänglich einbezogen betrachtet werden können.

Ausführungsvarianten und Erklärungen der Patentansprüche 10 bis 13 sind bereits vorher beschrieben worden. Patentanspruch 14 bezieht sich explizit auf die Berücksichtigung von funktionellen und/oder statischen bzw. okklusalen Bissregistraten. Ein großer Vorteil der gesamten Kauflächenganpassung mittels mathematischer bzw. elektronischer Vorgehensweise besteht darin, dass man die gesamte Herstellungskette von Gegenkieferabformung, Herstellung eines Gipsmodells dieses Gegenkiefers, Einartikulation des Gegenkiefers und Zuordnung zum gesägten oder Präparationsmodell, bis zur Bestimmung und Justierung der Kiefergelenksparemeter etc. nicht mehr durchführen muss. Die Alternative stellt hier die direkte Abformung der Gegenkiefersituation mittels Bissregistrat im Mund dar. Das statische Bissregistrat, manchmal auch als okklusales Bissregistrat bezeichnet, erhält man durch Einbringung von Abformmaterial an die gewünschte Stelle, indem der Patient zubeißt und die Zähne zugebissen lässt, bis das Material abbindet. Über die Kieferbewegungen erhält man Auskunft, indem vor dem Abbindens des eingebrachten Abdruckmaterials der Patient zusätzlich noch möglichst viele verschiedene Kieferbewegungen ausführt. Dies ergibt dann das funktionelle Bissregistrat, manchmal auch als FGP (function generated path) bezeichnet. Mit dieser Vorgehensweise erhält man sehr genaue 3D-Informationen über die Bahnen des der Präparation gegenüberliegenden Zähnen, und damit auch Begrenzungslinien und Konstruktionshinweise, wo Kontaktpunkte liegen könnten und wo die rekonstruierte Zahnoberfläche nicht ausgedehnt werden darf, bzw. welches die höchsten Stellen sein können. In Patentanspruch 15 wird genau diese Information für die Korrespondenzfindung und damit für eine genauere Adaptation des Durchschnittszahnes oder des generischen Zahnes herangezogen. Durch geeignete mathematische Formulierung kann diese Information in Form von Randbedingungen in die Optimierungs- bzw. Minimierungsverfahren einbezogen werden. Diese Bedingung könnte z.B. lauten: Kontaktpunkte sind Berührungspunkte (Interpolation des Punktes mit zweiter Ableitung gleich 0) mit dem Bissregistrat, während die restlichen Bereiche von der rekonstruierten Fläche nicht berührt werden dürfen.

In Patentanspruch 16 wird eine Möglichkeit der Automatisierung der Kontaktpunktfindung mit dem Gegenzahn (Antagonisten) beschrieben. Durch Vergleich des statischen (okklusalen) Bissregistrats mit dem funktionellen Bissregistrat, die beide für die entsprechende Situation wie oben ausgeführt vom Patienten genommen wurden und sich als vermessene Datensätze im gleichen Koordinatensystem befinden (referenziert sind), sind die Bereiche, bei denen das eine Bissregistrat einen geringen Abstand von dem anderen Bissregistrat hat oder sich beide berühren, besonders ausgezeichnet. Diese Areale stellen die möglichen Kandidaten für die Kontakte mit den Antagonisten dar, in den anderen Bereichen können keine Kontaktpunkte liegen. Wenn man weiß, wo sich die korrespondierenden Kontaktpunkte auf der generischen Zahnoberfläche bzw. auf dem Durchschnittszahn befinden, kann man die Optimierung der Linearfaktoren weitestgehend automatisieren.

In Patentanspruch 17 werden zusätzlich für die Approximalflächengestaltung (z.B. Lage des Approximalkontaktes, Ausdehnung etc.) und für die Auswahl von Korrespondenzpunkten bzw. -strukturen (z.B. Randleisten, Formen der Kaufläche etc.) die vermessenen Informationen der Nachbarzähne einbezogen. Ebenso können einzelne Punkte (z.B. Kontaktpunkte) oder die Form und Strukturen des Gegenzahnes für die Korrespondenzbildung ausgenutzt und damit die Auswahl der bestpassendsten Zahnoberfläche für die Rekonstruktion des reparaturbedürftigen Zahnes bzw. Defektsituation durchgeführt werden. Ebenso könnte die Information des entsprechenden symmetrisch gegenüberliegenden Zahnes herangezogen werden, da man oft davon ausgeht, dass diese Zahnformen nur spiegelbildlich sind, sich aber sonst sehr stark ähneln. Insbesondere beinhaltet dieser Anspruch die Möglichkeit, die aus der Hauptachsenanalyse bzw. Korrespondenzanalyse gefundenen Zusammenhänge zwischen Nachbarzähnen des gleichen Patienten (z.B. bei der Herstellung des generischen Zahnmodells von benachbarten Zähnen) aus der Information des Nachbarzahnes/ der Nachbarzähne auf die zu ergänzende Außenhülle oder zumindest Teile dieser Außenhülle zu schließen. Eine Möglichkeit besteht in der Optimierung der Parameter des kombinierten generischen Zahnmodell Datensatzes bei der Anpassung an den Nachbarzahn/Nachbarzähne, wobei gleichzeitig die zu rekonstruierende Zahnoberfläche entsprechend verändert wird. Das gleiche Verfahren ist auch für den Gegenzahn bzw. den symmetrisch gegenüberliegenden Zahn anwendbar. Insbesondere wird in diesem Anspruch auch darauf hingewiesen, dass

die Information von Nachbarzahn/Nachbarzähnen, von Gegenzahn und/oder vom symmetrisch gegenüberliegenden Zahn/Zähnen auch aus zweidimensional vermessenen Datensätzen bestehen kann. Ausgehend von diesen Datensätzen kann man unter  
5      Zuhilfenahme eines entsprechenden generischen Zahnmodells durch Optimierung von Abbildungs-, Beleuchtungs-, Render- und/oder Projektionsfunktionen auf die dreidimensionale Struktur schließen (siehe z.B. Blanz, V., Romdhani, S.: Face Identification across different poses and illuminations with a 3D morphable model. Proc. Int. Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 202-207, 2002) und diese  
10      wiederum für die Rekonstruktion ausnutzen. Der Vorteil dieser zweidimensionalen Vermessung liegt darin, dass man relativ einfach z.B. mittels einer intraoralen Kamera oder eines Fotoapparats am Patienten diese Aufnahme bzw. Datensätze erstellen kann.

Patentanspruch 18 beschreibt, dass noch notwendige Anpassungen durchgeführt werden, sofern noch Störstellen und Interferenzen nach Berechnung des bestpassendsten  
15      generischen Zahnes oder Durchschnittszahnes vorhanden sind. Dies können kleine Stufen oder Lücken beim Übergang zur Restzahnsubstanz, zu hohe Stellen, die das Bissregistrat oder den Nachbarzahn durchdringen, noch fehlende Kontaktpunkte etc sein. Hier bieten sich Verfahren an, die gewährleisten, dass die Veränderungen lokal begrenzt und möglichst klein bleiben und gleichzeitig einen harmonischen und glatten Übergang zu den  
20      nicht veränderten Bereichen ergeben. Dies kann durch bekannte Deformations und/oder Morphing-Verfahren erfolgen. Außerdem müssen unter Umständen noch fehlende Flächenanteile wie Approximalflächen, Oral- und Vestibulärflächen ergänzt werden. Die möglichen Verfahren einer automatisierten Ergänzung dieser Flächen werden weiter unten beschrieben. Insgesamt können diese Prozesse automatisch oder interaktiv erfolgen. Bei  
25      der interaktiven Manipulation kann der Zahnarzt oder Zahntechniker nach seiner jeweiligen Vorstellung die Gestaltung noch optimieren. Diese Möglichkeit sollte in Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestaurationen in der Regel immer implementiert sein.

30      Mit Hilfe des generischen Zahnes gelingt die Verwirklichung verschiedener Okklusions- und Funktionskonzepte. In der Zahntechnik gibt es verschieden Theorien, wo statische und funktionelle Kontaktpunkte zum Nachbarzahn oder Antagonisten liegen sollen. Der generische Zahn bietet die Möglichkeit, quasi online zu entscheiden, welches Konzept man verwenden möchte und wo die Kontaktpunkte liegen sollten (Fig. 9-11). Dabei wird

z.B. entweder einmal für einen bestimmten Benutzer oder Labor, der oder das ein bestimmtes Konzept favorisiert, oder auch vor jeder neuen Versorgung die gewünschten Kontaktpunkte auf dem generischen Zahn markiert, die entsprechenden Korrespondenzpunkte auf dem Bissregistrar/ und oder Restzahnschubstanz bzw.

5 Nachbarzahn, wie in den Patentansprüchen 19 und 20 ausgeführt. Durch Anpassung der Parameter bezüglich der korrespondierenden Punkte erhält man nach Minimierungsverfahren wiederum eine funktionell gestaltete natürliche Kaufläche. Dieses Verfahren geht nur mit generischen Zähnen, da im Falle von Zahnbibliotheken der beste Zahn nur ausgewählt werden kann, wenn bei Veränderung der Kontakt/Funktionssituation  
10 die entsprechenden Referenzpunkte aller Zähne neu bestimmt werden müssen, bei hoher Anzahl von Zähnen ein aufwendiges Unterfangen. Auf der anderen Seite ist bei Deformation nur eines Modellzahnes, der nicht auf Basis eines generischen Zahnes erzeugt ist und die Hauptkomponentenanalyse nicht durchgeführt wurde, nicht gewährleistet, dass das Ergebnis ein harmonisches, zahnähnliches Resultat ergibt.

15 In den Patentansprüchen 21 und 22 werden Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen beschrieben, die ausgehend von 3D-Datensätzen der Gegenkiefersituation (Fig.2) und der Präparation (Fig. 1) bzw. mehreren Präparationen, die zueinander referenziert sind, dadurch hergestellt werden, dass nach Referenzierung die  
20 vorhandenen Bissregistrare mit den Präparationsdatensätzen anhand der möglichen Überlappbereiche (Fig. 3) nach Auswahl geeigneter Korrespondenzpunkte (Fig. 4) die am besten passende Kaufläche aus einer Zahnbibliothek automatisch ausgewählt wird (Fig. 5). Ein Fehler-Minimierungs-Verfahren für die Auswahl und Anpassung der Bibliothekskaufläche, das sich hierfür sehr gut eignet und nicht iterativ erfolgt, wird z.B.  
25 bei Umeyama (Umeyama S.: Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns. IEEE PAMI 13(4): 276-280, 1991) beschrieben. Anschließend werden vorhandene Interferenzen bzw. Überschneidungen mit der Gegenzahnreihe und /oder Nachbarzähne beseitigt und im Falle der Inlays, Onlays und z.T. Teilkronen wird noch die Restzahnschubstanz berücksichtigt, werden die fehlenden  
30 Außenflächen ergänzt (Fig. 6 und 8) und wird dann an die Präparationslinie so angepasst, dass ein nahezu glatter harmonischer Übergang erfolgt (Fig. 7). Durch Verschmelzung der Außen- und Innenflächen entlang der Präparationslinie (Randkurve) kann dann das Zahnersatzteil gefräst werden. Entscheidend zum einen ist, dass im Vergleich zu vorher erwähnten bereits bekannten Methoden durch die Auswahl vieler unterschiedlicher Zähne



aus einer Zahnbibliothek nicht der Zahn der Situation angepasst wird, sondern ein für die Situation schon sehr gut passender Zahn ausgewählt wird, bei dem dann nur sehr kleine und damit automatisierbare und fehlerunanfälligere Adaptationen durchzuführen sind. Der zweite Vorteil ist die Trennung von wichtigen oder komplizierten Teilen der Zahnoberfläche von weniger wichtigen oder einfacheren Teilen. Zu ersteren gehört z.B. die Kaufläche, zu zweiten die Vestibulär, Approximal- und Oralflächen der Zähne. Durch diese Aufteilung kann man sich auf die bessere Anpassung der komplizierteren Oberflächen aus der Zahnbibliothek beschränken, während die Außenflächen automatisch ergänzt und rekonstruiert werden. Für die Aussenflächen genügt die Angabe nur weniger Konstruktionspunkte (Fig. 8). Eine Möglichkeit der Implementierung ist die Berechnung von Bezier-, Nurbs- oder B-Spline-Flächen, die stetig und glatt an die entsprechenden Teile der Präparationsgrenze und der Grenze des eingefügten Bibliotheksdatensatzes anschließen und dabei die Konstruktionspunkte (wie z.B. Approximalkontakt, Ausbuchtung der Vestibulär- oder Oralfläche) interpolieren.

In Patentanspruch 23 wird spezifiziert, wie diese Zahnbibliothek aufgebaut sein kann. Sinnvoll ist dabei eine Struktur, bei der jedem Zahndatensatz entweder durch Referenzierung oder durch entsprechender Namensgebung ein Datensatz zugeordnet ist, der den Typ und die Merkmale, die für die Auswahl berücksichtigt werden sollen, beinhaltet. Zusätzlich soll die Bibliothek aus Zahnoberflächen bestehen, die von natürlichen kariesfreien und unversehrten Zähnen herrühren.

Die allgemeinste Form der Zahnbibliothek enthält die Gesamtheit aller möglichen vorkommenden natürlicher und auch künstlicher Zahnformen. Sinnvollerweise wird man die Zahnbibliothek in Gruppen mit unterschiedlichen Zahntypen einteilen. Bei dieser Untergruppierung nach dem Zahntyp kann es sich zum Beispiel um Molaren, Prämolaren, Eckzähne und Frontzähne handeln. Als Zahntyp kann aber auch der OK-6er, UK-4er, OK-1er etc. stehen. Möglich ist des weiteren eine Unterscheidung nach Alter und Abrasion, nach Geschlecht, nach Volkszugehörigkeit, nach Größe der Zähne, nach morphologischen Besonderheiten etc, z.B. können die Gruppen OK-7er im Alter von 50-60 Jahren, OK-6er mit und ohne Tuberculum Carabelli, UK-3er bei weiblichen Personen ein Beispiel für einen Zahntyp darstellen. Der Begriff Zahntyp umfasst also eine je nach Aufgabenstellung sehr variable Gruppierungsmöglichkeit.

Patentanspruch 24 beschreibt ein Verfahren, in dem man bei der Erstellung des generischen Zahnmodelldatensatzes den Faktor Alter bzw. Abrasionsgrad, wobei Zahnbibliotheksflächen eines bestimmten Zahntyps in allen Alters- bzw. Abrasionsstufen vorliegen sollen, berücksichtigt und den oder die ermittelten Kombinationen aus

5 Linearfaktoren und Hauptkomponenten, die diesen Faktor beschreiben, nutzt, um die Abrasion für die jeweilige Restgebissituation optimal einzustellen.

Patentanspruch 25 zeigt eine neue Möglichkeit der Herstellung von Zahnrestorationen auf, bei der automatisch ein Vorschlag für die möglichen Lokalisationen aller

10 Berührungspunkte mit dem Gegenzahn/Gegenbezahnung (d.h. den Berührungsstellen mit dem Gegenkiefer) ermittelt wird. Dazu wird ein funktionelles Bissregistrar und ein statisches bzw. okklusales Bissregistrar vermessen, die Datensätze im gleichen Koordinatensystem referenziert, so dass es der Situation am Patienten bzw. am Modell entspricht und anschließend alle Bereiche oder Punkte, die einen sehr geringen Abstand

15 von dem einen zum anderen Registrar aufweisen, herausgefiltert. Entscheidend ist, dass außerhalb dieser Bereiche kein Kontaktpunkt liegen kann und darf. Daher könnte sogar die Kontaktpunktgestaltung automatisiert werden, aber zumindest wesentlich vereinfacht werden.

Patentanspruch 27 beinhaltet ein Verfahren, bei dem die Datensätze der

20 Durchschnittszahns, des generischen Zahndatensatzes, der rekonstruierten Zahnersatzteile, der Zahnrestorationen oder der Zahnmodelle durch Glättung (Filterung) oder spezieller Anpassung an die Werkzeug- bzw. Bearbeitungsgeometrien für den Herstellungsprozess aufbereitet werden. Darunter fallen auch Fräserradiuskorrekturen etc.

Alle vorgestellten Verfahren eignen sich für Inlay-, Onlay-, Teilkronen-, Kronen- und Brückenversorgungen gleichermaßen. Ein weiterer Vorteil, wie in Patentanspruch 28 ausgeführt, liegt darin, dass ausgehend von der rekonstruierten Kaufläche auch eine

25 reduzierte Kauflächengestaltung für Gerüste möglich ist, die gewährleistet, dass die Verblendung nachher immer ungefähr die gleiche Schichtstärke aufweist. Dies kann man erreichen, indem in einem konstanten Abstand von der rekonstruierten Oberfläche die neue Oberfläche berechnet wird oder zumindest durch Abflachung im Bereich der Höcker und Fissuren die Kaufläche dann entsprechend der Schichtstärke in Richtung des präparierten Zahnes verschoben wird.

30

In Patentanspruch 29 wird die Verwendung einer numerisch gesteuerten Maschine beschrieben, mit deren Hilfe gesteuert von den ermittelten Datensätzen die physische Herstellung von Zahnmodellen, Zahnrestorationen und Zahnersatzteilen erfolgt. Im Prinzip sind alle möglichen automatisierten Fertigungsverfahren wie CNC-Fräsen oder –  
5 schleifen, Laserbearbeitung, Stereolithographie oder lithographische Sinterverfahren einsetzbar. Die Materialpalette für die Zahnrestauration, Zahnersatzteile oder Zahnmodelle kann von Kunststoff über Metalle (Titan, Gold, Stahl etc.) bis zu Keramik reichen. In der Zahnmedizin sind bereits eine Reihe von Materialien speziell für den  
10 CAD/CAM-Prozess verfügbar.

In den Patentansprüchen 30 und 31 werden Vorrichtungen beschrieben, die es ermöglichen, dass für den generischen Zahnmodelldatensatz die Linearfaktoren der zumindest wichtigsten Hauptkomponenten durch eine Regeleinrichtung direkt und  
15 interaktiv verändert werden können. Gleichzeitig kann die Auswirkung dieser Veränderung in einer bildlichen Darstellung betrachtet und analysiert werden. In Fig. 13 ist eine Form der Ausgestaltung zu sehen. Die erwähnten Vorrichtungen können z.B. eingesetzt werden, um anstelle der automatischen Rekonstruktion und Optimierung dem Zahnarzt oder Zahntechniker die Möglichkeit zu geben, interaktiv nach eigenen  
20 Vorstellungen den generischen Zahnmodelldatensatz an die Restzahnsituation anzupassen.

Die Kontrolle des Ergebnis oder noch notwendige Interaktionen, die man dem Zahntechniker oder Zahnarzt immer ermöglichen sollte, kann für den Bediener durch Visualisierung mit 3D-Brillen oder 3D-Monitoren etc. erfolgen. Dies ist für den  
25 ungeübten Bediener vertrauter.

Die Einbeziehung der Nachbarzähne oder Antagonisten oder der symmetrisch gegenüberliegenden Zahntypen bei der Auswahl der besten Kaufläche ist mittels der generischen Kauflächen und der zugehörigen Hauptkomponenten ebenfalls möglich.  
30

Die Erfindung ist anhand der Ausführungsbeispiele in der Beschreibung und in den Abbildungen lediglich exemplarisch dargestellt und nicht darauf beschränkt, sondern umfaßt alle Variationen, Modifikationen, Substitutionen und Kombinationen, die der Fachmann den vorliegenden Unterlagen insbesondere im Rahmen der Ansprüche und der

allgemeinen Darstellungen sowie der Beschreibung der Ausführungsbeispiele und deren Darstellungen in den Abbildungen entnehmen und mit seinem fachmännischen Wissen sowie dem Stand der Technik insbesondere unter Einbeziehung der vollständigen Offenbarungsgehalte der in dieser Beschreibung angegebenen älteren Anmeldungen kombinieren kann. Insbesondere sind alle einzelnen Merkmale und  
5 Ausgestaltungsmöglichkeiten kombinierbar.

In den Zeichnungen zeigen:

10 Fig. 1 einen reparaturbedürftigen Zahn;

Fig. 2 ein zu dem reparaturbedürftigen Zahn referenziertes Bissregistrat;

15 Fig. 3 den Zahn gemäß Fig. 1 dargestellt mit Nachbarzähnen (oben) und zusätzlich mit referenziertem Bissregistrat (unten);

Fig. 4 eine Darstellung des Zahns nach Fig. 1 mit Bissregistrat und ausgewählten Korrespondenzpunkten;

20 Fig. 5 eine aus einer Zahnbibliothek anhand der Korrespondenzpunkte ausgesuchte Zahnoberfläche;

Fig. 6 rotierte Darstellung der Situation nach Fig. 5 mit erkennbaren Fehlstellen;

25 Fig. 7 eingepasste und vollständig ergänzte Zahnrestauration;

Fig. 8 eingepasste Zahnfläche für Kronenpräparation mit Einzeichnung von Interpolationspunkten für die Rekonstruktion der noch fehlenden Aussenflächen;

30 Fig. 9 ein Beispiel einer generisch erzeugten Zahnoberfläche mit Korrespondenzpunkten;

Fig. 10 reparaturbedürftiger Zahn mit den der Fig. 9 entsprechenden Korrespondenzpunkten;

Fig. 11 reparaturbedürftiger Zahn mit Bissregistrator und mit den der Fig. 9 entsprechenden Korrespondenzpunkten;

5 Fig. 12 Beispiel für eine nach dem Verfahren des generischen Zahnmodells in einer Maschine angefertigten Zahnrestauration;

Fig. 13 ein Beispiel für eine Regeleinrichtung zur Veränderung der Linearfaktoren und der gleichzeitigen Darstellung der Veränderung;

10

Fig. 14 ein Flussdiagramm für die Erstellung eines Durchschnittsdatensatzes oder eines generischen Zahnmodelldatensatzes;

Fig. 15 ein Flussdiagramm für eine Rekonstruktion einer Außenhülle;

15

Fig. 16 eine Fortsetzung des Flussdiagramms von Fig. 14 für eine Rekonstruktion einer Außenhülle;

Fig. 17 ein Flussdiagramm für eine Anfertigung eines Zahnersatzteils oder einer Zahnrestauration; und

20

Fig. 18 ein Flussdiagramm für eine Anfertigung eines Zahnmodells.

Es folgen nun weitere Erläuterungen zur Erfindung und zu Ausführungsformen der Erfindung.

25

Fig. 1: Zeigt einen dreidimensional vermessenen reparaturbedürftigen Zahn als Höhendatensatz.

30

Fig. 2: zeigt ein zu einem reparaturbedürftigen Zahn referenziertes Bissregistrator. Dieses Bissregistrator enthält Informationen zum Antagonisten. Es kann sich dabei entweder um ein statisches Bissregistrator und/oder um ein funktionelles Bissregistrator und/oder um die Gegenzahnreihe handeln. Wichtig ist nur, dass diese Informationen ins gleiche Koordinatensystem wie der Zahn referenziert werden.

Fig.3: zeigt die gleiche Situation wie in Fig. 2, jedoch mit Nachbarzähnen (oben) und zusätzlich Bissregistrat (unten) dargestellt. Die gesamte Anordnung stellt die Restgebissssituation dar. Die Nachbarzähne geben z.B. die Information für die mesial-distale Ausdehnung der rekonstruierten Außenhülle. Außerdem kann anhand der Form der Nachbarzähne eine Auswahl für die Zahnoberfläche (Außenhülle) getroffen werden, die für die Rekonstruktion in der entsprechenden Situation in Frage kommen.

Gemäß Fig. 4: können durch Markieren von Punkten auf der Restzahnfläche und/oder Kontaktpunkten auf dem Bissregistrat (Gegenzahnreihe) und/oder zum Approximalkontakt des Nachbarzahnes die Zahnoberflächen entweder aus der Bibliothek oder mittels des generischen Zahnes mit Hauptkomponenten optimal durch entsprechende Minimierung einer Fehlerfunktion angepaßt werden. Anstatt der Punktmarkierungen kann man auch größere Bereiche auswählen, wie z.B. Restzahnschubstanz und/oder Kontaktflächen, anhand derer die Zahnoberflächen durch Matching oder optischen Fluß angepaßt werden. In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung können die Lokalisationen möglicher Kontaktpunkte auch automatisch durch Vergleich des funktionellen Bissregistrates und des statischen (okklusalen) Bissregistrates ermittelt werden.

Fig. 5. zeigt eine Kaufläche aus der Bibliothek ausgesucht und an die Position transformiert oder eine generische Kaufläche, durch Optimierung der Linearfaktoren der Hauptkomponenten an die Situation angepaßt. In beiden Fällen erhält man schon ein relativ gutes Resultat, das durch Deformation noch an die Ränder und an die Gegenbezaßung angepaßt werden muss.

Gemäß Fig. 6. liefert eine Anpassung von Kauflächen je nach noch vorhandener Restzahnschubstanz fehlende Lücken im Bereich vor allem unterhalb des Zahnäquators. Diese Lücken müssen noch geschlossen werden. Obwohl die Auswahl von vollständigen Zahnoberflächen (d.h. inkl. Außenbereiche) möglich wäre, ist zur Zeit nach den Erfahrungen eine getrennte Anpassung von Kaufläche und Außenflächen (Oral-, Vestibulär, Approximalfläche) sinnvoll. Dadurch werden Parameter im Randbereich getrennt von Parametern im Kauflächenbereich behandelt und damit wird in den einzelnen

Bereichen eine bessere Anpassung gewährleistet. Ausserdem ist der Vorgang der Ergänzung der Kauflächen, wie in der Erfindung erwähnt, automatisch durchführbar.

5      Gemäß Fig. 7 erhält man nach Anpassen an den Rand/ Gegenzahn und Ergänzung der fehlenden Flächen die gesamte Außenkontur (Außenhülle) des Zahnes. Wichtig ist dabei jeweils der glatte Übergang in den Randbereichen. Durch Zusammenfügen dieses Datensatzes an der Präparationsgrenze mit dem Datensatz der vermessenen Kavität/Defekt ist der gewünschte Formkörper für die CNC-Bearbeitung und Anfertigung in einer Produktionsmaschine aufbereitet.

10      Fig. 8.: Wenn keine oder nur wenig Restzahnschubstanz vorhanden ist (z.B. Kronenpräparationen), erfolgt die Ergänzung der fehlenden Außenflächen über den gesamten zirkulären Bereich. Dabei ist es sinnvoll, einige Konstruktionspunkte vorzugeben. Die Ergänzung wird in der Regel automatisiert ablaufen. Die weitere  
15      Anforderung ist ein glatter Übergang in den Randbereichen.

Fig. 9. zeigt ein Beispiel einer generisch erzeugten Zahnoberfläche. Hier handelt es sich z.B. um einen Durchschnittszahn, der aus 200 jugendlichen unversehrten ersten Oberkiefermolaren (OK-6er) berechnet wurde.

20      Fig. 10. und 11: Die generische Kaufläche mit den Hauptkomponenten kann wiederum an die Restgebißsituation angepaßt werden durch Verwendung der Restzahnschubstanz (Fig. 10) und/oder durch Auswahl bestimmter Punkte auf Bissregistrat (Fig.11) und/oder Nachbarzähne etc.. Im Gegensatz zur direkten Verwendung einer Zahnbibliothek kann  
25      mittels des generischen Zahnmodell Datensatzes die Auswahl von bestimmten Kontakt- und Merkmalspunkten bzw. -strukturen direkt vor der Berechnung und Konstruktion erfolgen, da es genügt, diese Punkte am generischen Zahn zu markieren. In der Zahnbibliothek müßte dagegen jeder einzelne Zahn mit den neuen Merkmalspunkten versehen werden. Dies erlaubt daher auch einen schnellen Wechsel je nach Situation, um  
30      verschiedene Okklusions- und Formkonzepte umzusetzen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Datensatzes eines für die Anfertigung eines Zahnersatzteils, einer Zahnrestauration oder eines Zahnmodells verwendbaren Durchschnittszahns, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - a) durch Vermessen einer vorbestimmten Mindestanzahl von Zähnen gleichen Zahntyps wird eine Vielzahl von elektronischen Datensätzen dieses Zahntyps erzeugt;
  - b) es erfolgt eine Zuordnung zumindest einer Anzahl von für diesen Zahntyp charakteristischen Korrespondenzpunkten und/oder Korrespondenzstrukturen in den einzelnen elektronischen Datensätzen;
  - c) unter Berücksichtigung der Zuordnung der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen in den einzelnen Datensätzen erfolgt eine Mittelwertbildung aus den elektronischen Datensätzen;
  - d) ein sich aus der Mittelwertbildung ergebender elektronischer Durchschnittsdatsatz wird als elektronische Darstellung eines Durchschnittszahns mit einer bezüglich der vermessenen Zähne durchschnittlichen Zahnoberfläche zur Verfügung gestellt.
2. Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Datensatzes eines für die Anfertigung eines Zahnersatzteils, einer Zahnrestauration oder eines Zahnmodells verwendbaren generischen Zahnmodells, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - a) durch Vermessen einer vorbestimmten Mindestanzahl von Zähnen gleichen Zahntyps wird eine Vielzahl von elektronischen Datensätzen dieses Zahntyps erzeugt;
  - b) es erfolgt eine Zuordnung zumindest einer Anzahl von für diesen Zahntyp charakteristischen Korrespondenzpunkten und/oder Korrespondenzstrukturen in den einzelnen elektronischen Datensätzen;
  - c) es wird eine Hauptachsenanalyse für die zugeordneten Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen der vermessenen Zähne durchgeführt;
  - d) es wird eine Linearkombination aus mindestens einem Teil der sich ergebenden Hauptachsen für den betrachteten Zahntyp durchgeführt und als generischer Zahnmodell Datensatz zur Verfügung gestellt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 zur Herstellung eines dreidimensionalen elektronischen Datensatzes eines generischen Zahnmodells, bei welchem nach erfolgter Zuordnung



der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen der Durchschnittsdatensatz von allen vermessenen Zahndatensätzen subtrahiert wird, anschließend eine Hauptachsenanalyse für die Differenzdatensätze durchgeführt wird, eine Linearkombination aus mindestens einem Teil der sich ergebenden Hauptachsen für den betrachteten Zahntyp gebildet wird und diese Linearkombination zusammen mit dem Durchschnittsdatensatz als generischer Zahnmodelldatensatz zur Verfügung gestellt wird.

4. Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen,

dadurch gekennzeichnet,

dass zur Rekonstruktion eines reparaturbedürftigen Zahnes oder einer Defektsituation zumindest Teile der fehlenden Außenflächen der Zahnersatzteile oder Zahnrestorationen durch Anpassung eines Durchschnittszahnes des gewünschten Zahntyps an die vorhandene Restzahnsubstanz und/oder Gegenbezahnung und/oder Nachbarzahnsituation und/oder Bissregistratur ergänzt werden, wobei der Durchschnittszahn durch Mittelwertbildung der elektronischen Datensätze einer größeren Anzahl vermessener Zahnoberflächen eines bestimmten Zahntyps ermittelt wird, nachdem vorher eine Zuordnung möglichst vieler Korrespondenzpunkte und/oder -strukturen zwischen den Datensätzen erfolgt ist und die Mittelwertbildung genau zwischen den Korrespondenzpunkten und/oder -strukturen und damit den dazugehörigen einzelnen Koordinaten durchgeführt wird, und nach Anpassung in einer Maschine gefertigt wird.

5. Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen,

dadurch gekennzeichnet,

dass zur Rekonstruktion eines reparaturbedürftigen Zahnes oder einer Defektsituation zumindest Teile der fehlenden Außenflächen der Zahnersatzteile oder Zahnrestorationen durch Optimierung eines generischen Zahnmodelldatensatzes des gewünschten Zahntyps an die vorhandene Restzahnsubstanz und/oder Gegenbezahnung und/oder Nachbarzahnsituation und/oder Bissregistratur so ergänzt

werden, dass die Linearfaktoren zumindest der wichtigsten Hauptkomponenten, wobei diese Komponenten durch Hauptachsenanalyseverfahren aus den elektronischen Datensätzen einer größeren Anzahl vermessener Zahnoberflächen ermittelt wurden, so variiert werden, dass die gewählten Optimierungskriterien durch Minimierung einer Fehlerfunktion erfüllt werden, und nach erfolgter Anpassung an die Restgebissituation und Fertigstellung des Datensatzes das rekonstruierte Zahnersatzteil oder die rekonstruierte Zahnrestauration in einer Maschine angefertigt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem die Zuordnung der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen automatisch erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem für die Zuordnung der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen eine gewichtete Kombination zumindest aus Höhenwerten und Steigungen und/oder Krümmungen der entsprechenden elektronischen Daten verwendet wird.
8. Verwendung einer mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 erhaltenen elektronischen Darstellung eines Durchschnittszahns bzw. generischen Zahnmodells als elektronische Vorlage für eine Herstellung von physischen Zahnmodellen, Zahnrestaurationen oder Zahnersatzteilen mittels einer entsprechend dem Durchschnittsdatensatz bzw. generischen Zahnmodell Datensatz oder auch mittels Teilen dieser Datensätze gesteuerten Maschine.
9. Verfahren zur Herstellung von physischen Zahnersatzteilen oder Zahnrestaurationen für reparaturbedürftige Zähne oder für Defektsituationen unter Verwendung einer mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 erhaltenen elektronischen Darstellung eines Durchschnittszahns oder generischen Zahnmodells, mit folgenden Schritten:
  - a) es wird eine dreidimensionale Vermessung einer Präparation des reparaturbedürftigen Zahns oder einer Defektsituation durchgeführt und ein die Präparation oder Defektsituation darstellender elektronischer Datensatz erzeugt;
  - b) aus der elektronischen Information der vermessenen Präparation oder der vermessenen Defektsituation werden für den Zahntyp des reparaturbedürftigen Zahns

oder für den in die Defektsituation passenden Zahntyp charakteristische Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen ausgewählt;

c) die Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen im elektronischen Datensatz der vermessenen Präparation oder Defektsituation werden entsprechenden Korrespondenzpunkten und/oder Korrespondenzstrukturen im Datensatz des Durchschnittszahns bzw. des generischen Zahnmodells zugeordnet;

d) die einander zugeordneten Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen werden durch ein Optimierungsverfahren möglichst weit gehend angenähert;

e) der durch die Optimierung ermittelte Datensatz wird einer Rekonstruktion des fehlenden Teils des reparaturbedürftigen Zahns oder zur Ergänzung der Defektsituation zu Grunde gelegt;

f) ein physisches Zahnersatzteil oder eine physische Zahnrestauration für den reparaturbedürftigen Zahn oder für die Defektsituation wird mittels einer Maschine hergestellt, die entsprechend dem bei dem Schritt e) erhaltenen Datensatz gesteuert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7 und 9 zur Herstellung eines dreidimensionalen elektronischen Datensatzes von Zahnersatzteilen oder Zahnrestaurationen, bei welchem nach erfolgter Zuordnung von Korrespondenzpunkten und/oder -strukturen des reparaturbedürftigen Zahnes und/oder der Defektsituation zum generischen Zahnmodell Datensatz die Linearfaktoren für den verwendeten Teil der Hauptachsen so optimiert werden, dass die neue Linearkombination möglichst gut die Korrespondenzen anpasst oder zur Deckung bringt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei welchem die Linearfaktoren durch Minimierung der Abstände zwischen den Korrespondenzpunkten ermittelt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei welchem die Linearfaktoren so ermittelt werden, dass die Wahrscheinlichkeit für die ermittelte Linearkombination möglichst hoch ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei welchem die Optimierung die Wichtigkeit bestimmter Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen in Form von Wichtungsfaktoren berücksichtigt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7 oder 9 bis 13, bei welchem elektronische Datensätze eines funktionellen Bissregistrats und/oder eines statischen Bissregistrats berücksichtigt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, bei welchem die Information des Bissregistrats für die Bildung der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen zur Rekonstruktion des reparaturbedürftigen Zahns bzw. der Defektsituation einbezogen wird.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei welchem die möglichen Bereiche der Kontaktpunkte mit dem/die Gegenzahn/Gegenzähne als Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen ermittelt werden, indem durch Überlagerung des Datensatzes des statischen/okklusalen Bissregistrats mit dem Datensatz des funktionellen Bissregistrats die Bereiche mit geringen Abständen zwischen diesen Bissregistraten ausgewählt werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei welchem von mindestens einem Nachbarzahn und/oder mindestens einem Gegenzahn und/oder mindestens einem symmetrisch gegenüberliegenden Zahn abgeleitete elektronische Daten für die Bildung der Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen zur Rekonstruktion des reparaturbedürftigen Zahns bzw. der Defektsituation einbezogen werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 17, bei welchem der durch Optimierung ermittelte Datensatz in den Bereichen, in denen noch Störungen oder Interferenzen zur Präparation und/oder zur Restzahnschubstanz und/oder zum Bissregistrat und gegebenenfalls zum Nachbarzahn und/oder zum Gegenzahn auftreten, durch Deformation und/oder Morphing angepasst wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und 9 bis 18, bei welchem der Durchschnittsdatensatz oder der generische Zahnmodelldatensatz so bildlich dargestellt wird, dass die der vermessenen Präparation und/oder Defektsituation und/oder Bissregistrator/-e und/oder Nachbarzahn/Nachbarzähnen entsprechenden Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen direkt in eine elektronische graphische Darstellung des Durchschnittszahndatensatzes oder des generischen Zahnmodelldatensatzes einzeichnenbar sind.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und 9 bis 19, bei welchem der Durchschnittsdatensatz oder der generische Zahnmodelldatensatz zum Eingeben von Korrespondenzpunkten und/oder Korrespondenzstrukturen zusammen mit den vermessenen Datensätzen der Präparation und/oder Defektsituation und/oder Bissregistrator/-e und/oder Nachbarzahn/ Nachbarzähne bildlich dargestellt wird.
21. Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestorationen, wobei
- eine dreidimensionale Vermessung eines präparierten Zahnes oder mehrerer zueinander räumlich referenzierter präparierter Zähne erfolgt,
  - eine dreidimensionale Vermessung der im Bereich der Präparationen liegenden Gegenkiefersituation oder alternativ eines in dem Bereich der Präparation liegenden funktionellen Bissregistrates oder statischen/ okklusalen Bissregistrates erfolgt
  - die erfassten Daten als elektronische Digitaldaten gespeichert werden,
- dadurch gekennzeichnet,
- dass anhand von im Bereich der Präparation vorhandener Restzahnsubstanz, Nachbarzahn/Nachbarzähnen oder Zahnfleisch das oder die Bissregistratur im gleichen Koordinatensystem referenziert bzw. registriert werden, anschließend anhand der Restzahnflächen und/oder durch Auswahl bestimmter Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen die dafür am besten geeignete Bibliothekszahnfläche, d.h. die anhand der durch Minimierung einer Fehlerfunktion gefundene Zahnoberfläche, aus einer digital gespeicherten Zahnbibliothek ausgewählt wird, diese Bibliothekszahnfläche interaktiv und/oder automatisch mittels Softwareroutinen an die Restzahnsubstanz, an den oder die Nachbarzähne und/oder an das oder die

Bissregistrat/ Gegenbezahnung eingepaßt wird, durch Vorgabe der Lage des Approximalkontaktes und/oder oraler bzw. vestibulärer Kontrollpunkte die noch fehlenden Außenflächen ergänzt und an die Berandungskurven bzw.

Präparationslinien angefügt werden, so dass der Übergang von der Bibliothekszahnfläche zur ergänzten Außenfläche und von der ergänzten Außenfläche zur Restzahnschubstanz im Bereich der Präparationslinie nahezu glatt verläuft, und nach Fertigstellung des Datensatzes mittels diesen Datensatzes eine Maschine zur Herstellung des gewünschten Zahnersatzteiles oder der gewünschten Zahnrestauration gesteuert wird.

22. Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestaurationen, wobei

- eine dreidimensionale Vermessung eines präparierten Zahnes oder mehrerer zueinander räumlich referenzierter präparierter Zähne erfolgt,
- eine dreidimensionale Vermessung der im Bereich der Präparation liegenden Gegenkiefersituation oder alternativ eines in dem Bereich der Präparation liegenden funktionellen Bissregistrates oder okklusalen Bissregistrates erfolgt und
- die erfassten Daten als elektronische Digitaldaten gespeichert werden,

dadurch gekennzeichnet,

dass anhand von im Bereich der Präparation vorhandener Restzahnschubstanz, Nachbarzahn/Nachbarzähnen oder Zahnfleisch das oder die Bissregistrat im gleichen Koordinatensystem referenziert bzw. registriert werden, anschließend durch Vorgabe der Restzahnflächen und/oder durch Auswahl bestimmter Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen die dafür am besten geeignete Bibliothekszahnfläche, d.h. die anhand der durch Minimierung einer Fehlerfunktion gefundene Zahnoberfläche, aus einer digital gespeicherten Zahnbibliothek ausgewählt wird, diese Zahnoberfläche interaktiv und/oder automatisch mittels Softwareroutinen an die Restzahnschubstanz, an den oder die Nachbarzähne und/oder an das oder die Bissregistrat/Gegenbezahnung eingepasst wird, Überlappbereiche der Bibliothekszahnfläche mit der Restzahnschubstanz entsprechend der vorhandenen Präparationsgrenze abgeschnitten werden, durch Vorgabe der Lage des Approximalkontaktes und/oder oraler bzw. vestibulärer Kontrollpunkte die noch

fehlenden Außenflächen ergänzt und an die Berandungskurven bzw.

Präparationslinien angepasst werden, so dass der Übergang von Bibliothekszahnfläche zur ergänzten Außenfläche und von ergänzter Außenfläche zur Restzahnsubstanz im Bereich der Präparationslinie nahezu glatt verläuft, und nach Fertigstellung des Datensatzes mittels diesen Datensatzes eine Maschine zur Herstellung des gewünschten Zahnersatzteiles oder der gewünschten Zahnrestauration gesteuert wird.

23. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 7 und 9 bis 22,

dadurch gekennzeichnet

dass eine Zahnbibliothek aus dreidimensional vermessenen Datensätzen von natürlichen Zahnoberflächen verwendet wird und zu jeder Zahnoberfläche ein Datensatz gebildet wird, der den Zahntyp und die dazugehörigen Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen enthält, von denen zumindest ein Teil für die Zuordnung an die entsprechenden Korrespondenzpunkte oder Korrespondenzstrukturen des Restzahns und/oder der Präparation und/oder des oder die Nachbarzähne und/oder des Gegenzahns und/oder des oder die Bissregistratur verwendet wird.

24. Verfahren zur Herstellung von Zahnrestorationen nach einem der Ansprüche 2 bis 7 und 9 bis 23,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Einstellung der Abrasion der zu rekonstruierenden Zahnoberfläche zur Anpassung an den reperaturbedürftigen Zahn und/oder die Defektsituation und/oder Restgebissituation aus dem generischen Zahnmodell Datensatz durch Variation der Linearfaktoren der Hauptkomponenten durchgeführt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 24, bei welchem die möglichen Bereiche der Kontaktpunkte mit dem oder die Gegenzähne als Korrespondenzpunkte und/oder Korrespondenzstrukturen ermittelt werden, indem durch Überlagerung des Datensatzes des statischen/okklusalen Bissregistrats mit dem Datensatz des

funktionellen Bissregistrats des Gegenkiefers die Bereiche mit geringen Abständen zwischen diesen Bissregistraten ausgewählt werden.

26. Verfahren zur Herstellung von Zahnmodellen oder Zahnersatzteilen für Prothesen, Teilprothesen, Übungsmodelle, Ausbildungsmodelle und/oder Anschauungsmodelle,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Zahnoberfläche der Zahnmodelle oder Zahnersatzteile mittels eines generischen Zahnmodell Datensatzes oder Durchschnittsdatsatzes gestaltet ist, der, nachdem vorher eine Zuordnung möglichst vieler Korrespondenzpunkte und/oder -Strukturen zwischen den elektronischen Datensätzen einer größeren Anzahl vermessener Zahnoberflächen erfolgt ist, durch Mittelung dieser Datensätze und/oder Hauptachsenanalyse entstanden ist, wobei für den generischen Zahnmodell Datensatz die Linearkombination zumindest aus den wichtigsten Anteilen der Hauptkomponenten gebildet wird, und das Zahnersatzteil oder Zahnmodell in einer Maschine gefertigt wird oder als Anschauungsmodell in einer Druckvorrichtung oder holographischen Vorlage erstellt wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, wobei vor der Anfertigung in einer numerisch gesteuerten Maschine die Oberflächen des Datensatzes des Zahnersatzteiles, der Zahnrestauration oder des Zahnmodells entsprechend der zu bearbeitenden Werkzeuggeometrien geglättet werden.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 27 zur Herstellung eines Zahnersatzteils oder einer Zahnrestauration mit Verblendung, bei welchem der Datensatz, der bei Schritt e) des Verfahrens nach Anspruch 9, bei Anspruch 4, 5, 18, 21 oder 22 erhalten worden ist, so modifiziert wird, dass für die den zu verblendenden Zonen entsprechenden Bereiche eine reduzierte Form dergestalt berechnet wird, dass bei der späteren Verblendung der Abstand der neuen Oberfläche zur Außenfläche der reduzierten Form in mindestens einem großen Anteil der Bereiche nahezu oder exakt konstant ist und damit auch die Schichtstärke der späteren Verblendung mit wenig Schwankungen nahezu konstant ist.



29. Verwendung einer numerisch gesteuerten Maschine zur Herstellung von Zahnmodellen, Zahnrestorationen oder Zahnersatzteilen, indem die Maschine entsprechend dem mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 28 erhaltenen Datensatzes gesteuert wird.
30. Vorrichtung zur Veränderung eines mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7 erhaltenen generischen Zahnmodell Datensatzes, aufweisend eine Regeleinrichtung, mittels welcher die Linearfaktoren zumindest eines Teils der Hauptkomponenten des generischen Zahnmodell Datensatzes veränderbar sind.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30, mit einer mit der Regeleinrichtung gekoppelten Darstellungseinrichtung zur bildlichen Darstellung des dem generischen Zahnmodell Datensatzes entsprechenden generischen Zahnes und der Auswirkung eines mittels der Regeleinrichtung durchgeführten Veränderung der Linearfaktoren.

1/10

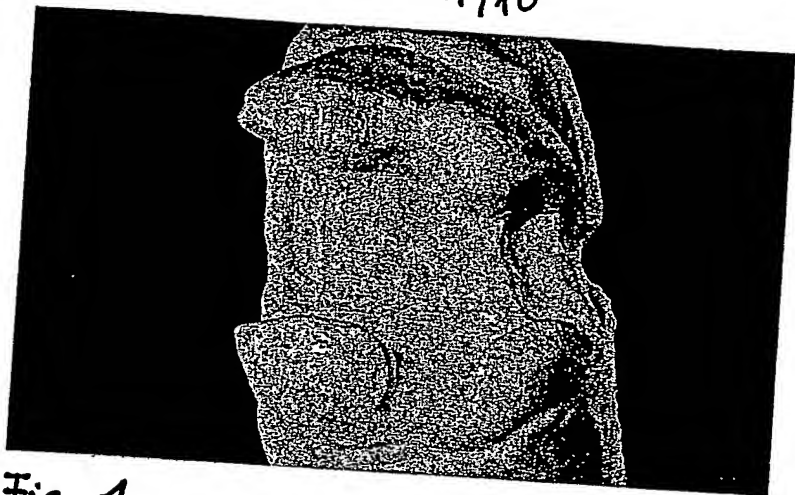


Fig. 1



Fig. 2

2/10

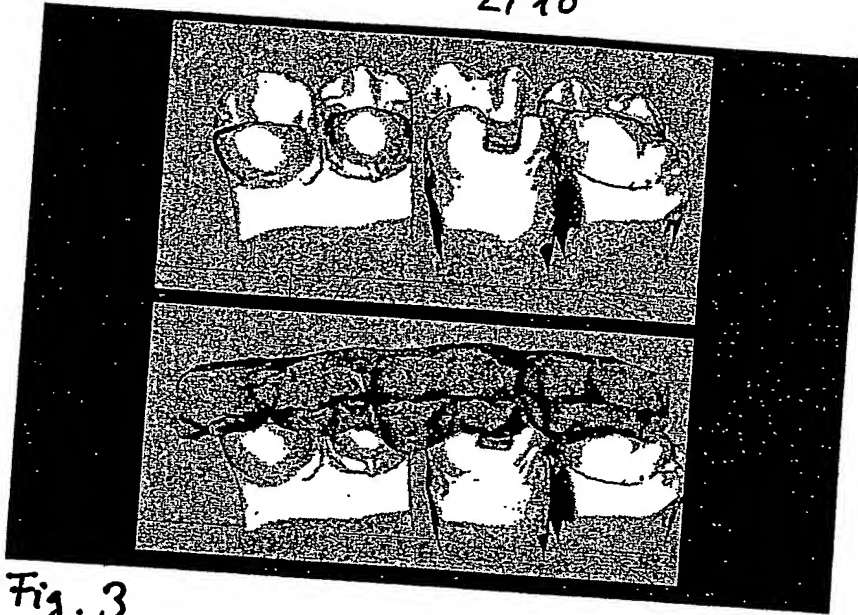


Fig. 3

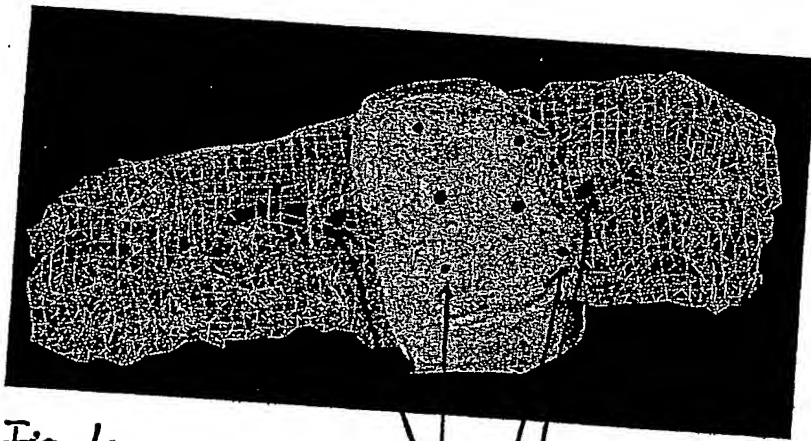


Fig. 4

z.B. korrespondenzpunkte

3/10

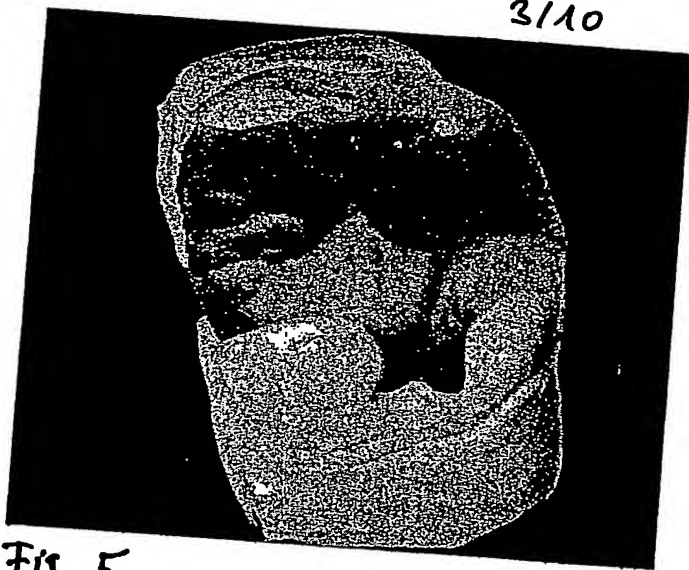


Fig. 5

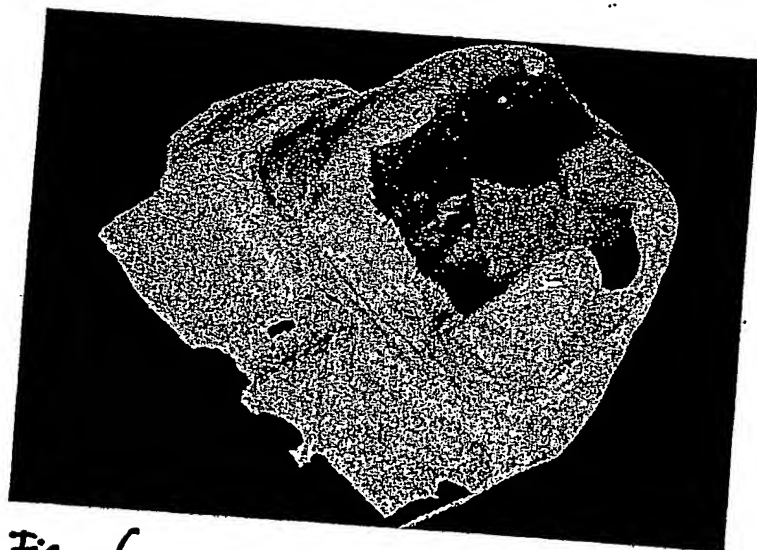


Fig. 6

4/10

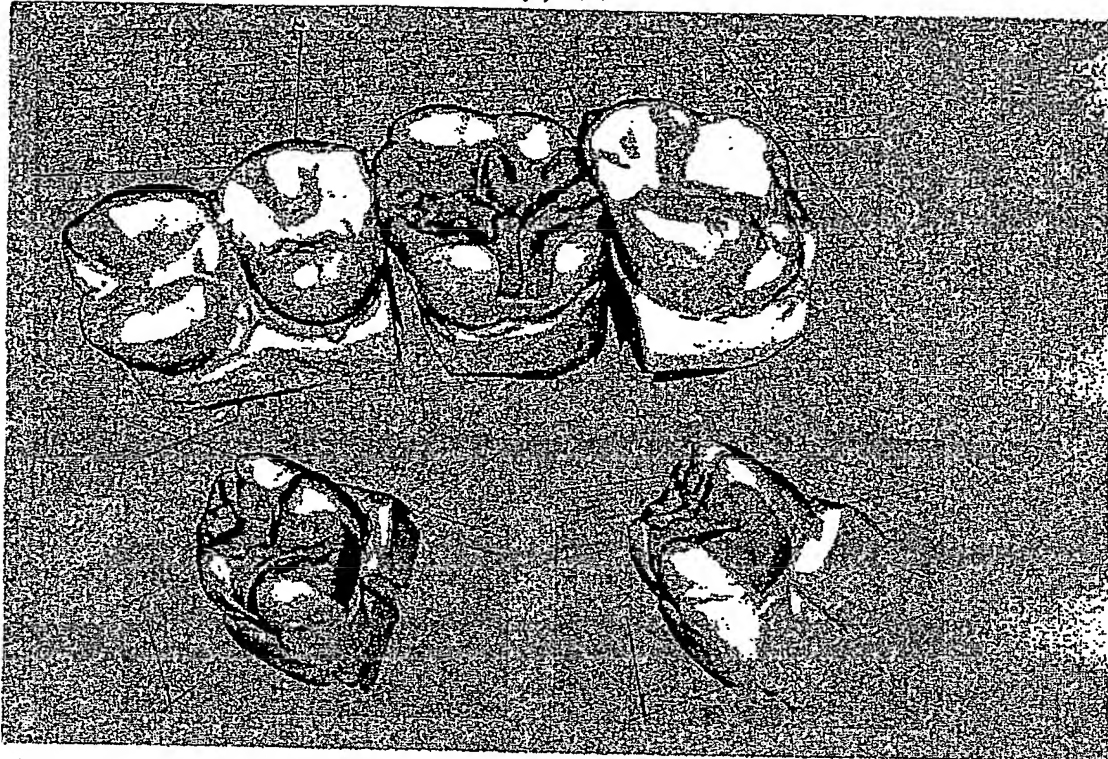


Fig. 7

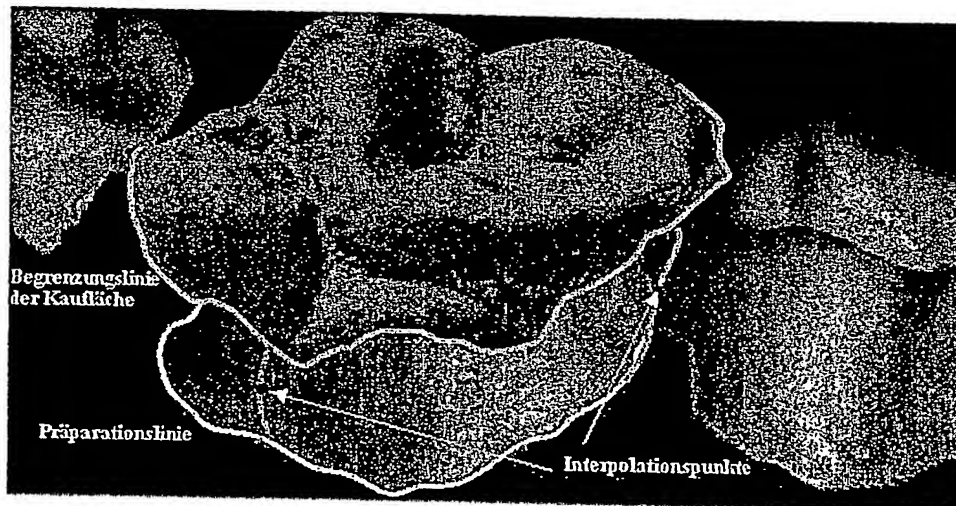


Fig. 8

5/10

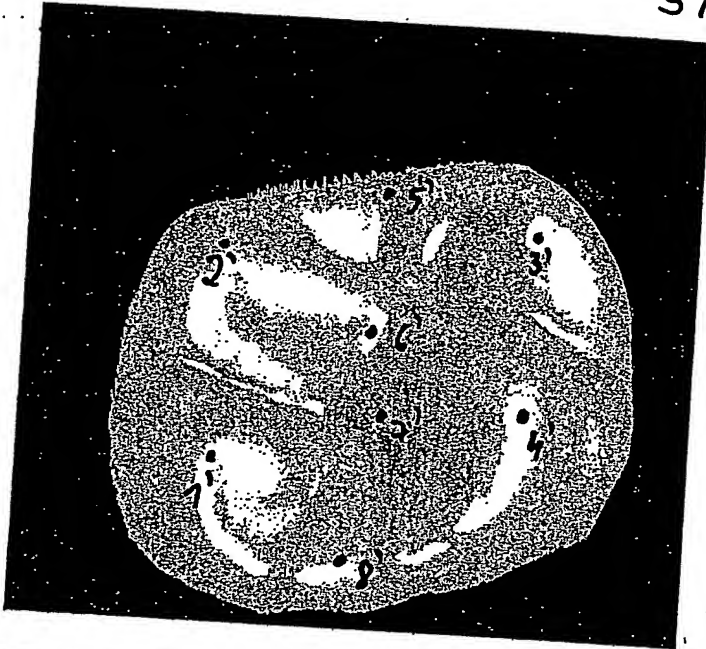


Fig. 9

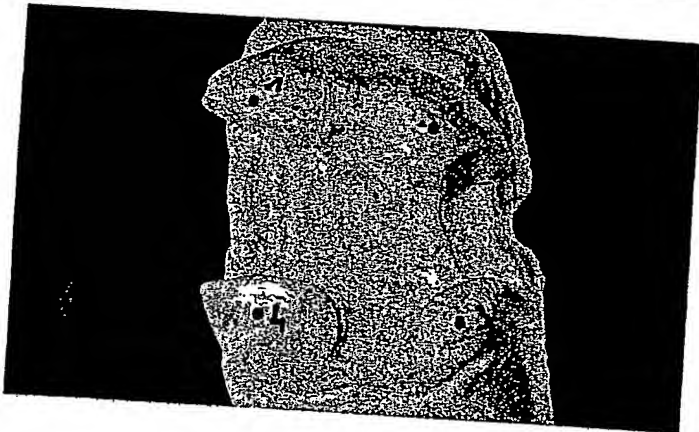


Fig. 10

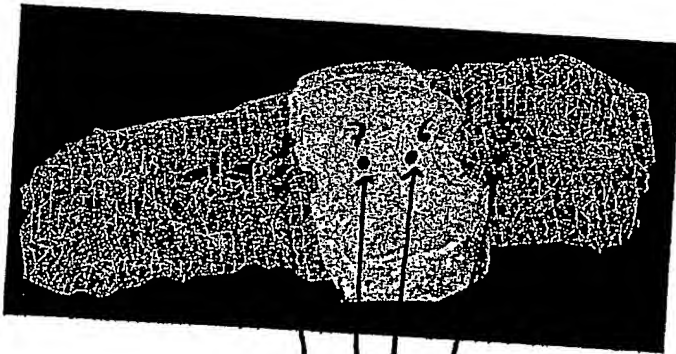


Fig. 11

z.B. Kontaktpunkte zum Antagonisten



6710

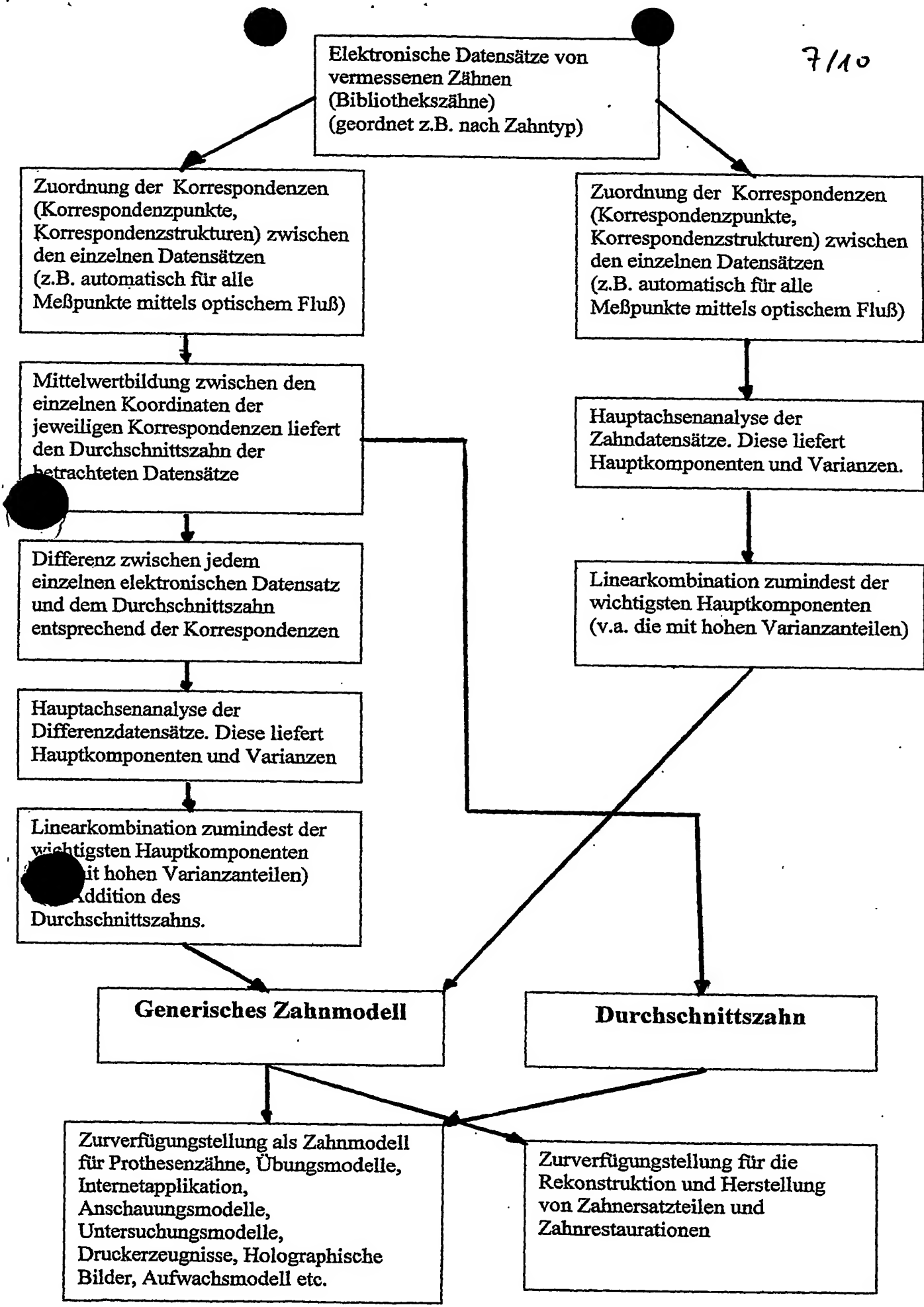


Fig. 12

The image shows a screenshot of a software application titled "Unbenannt - DentVisual". The interface is divided into several sections:

- Menu Bar:** Located at the top, containing options like "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Einstellungen", "Hilfen", and "Fenster".
- Toolbar:** Below the menu bar, featuring icons for various functions such as opening files, saving, and viewing.
- Control Panel (Left):** A vertical panel with multiple sliders and buttons. The sliders are labeled with values like "0.10", "0.20", "0.40", "0.60", and "0.80". Buttons include "Abbrechen" and "OK".
- Main Display Area:** A large central window showing a 3D model of a tooth, rendered in a grayscale, textured style.
- Status Bar (Bottom):** Displays coordinates: "x=2163.65 y=70245.88 z=6231.12".

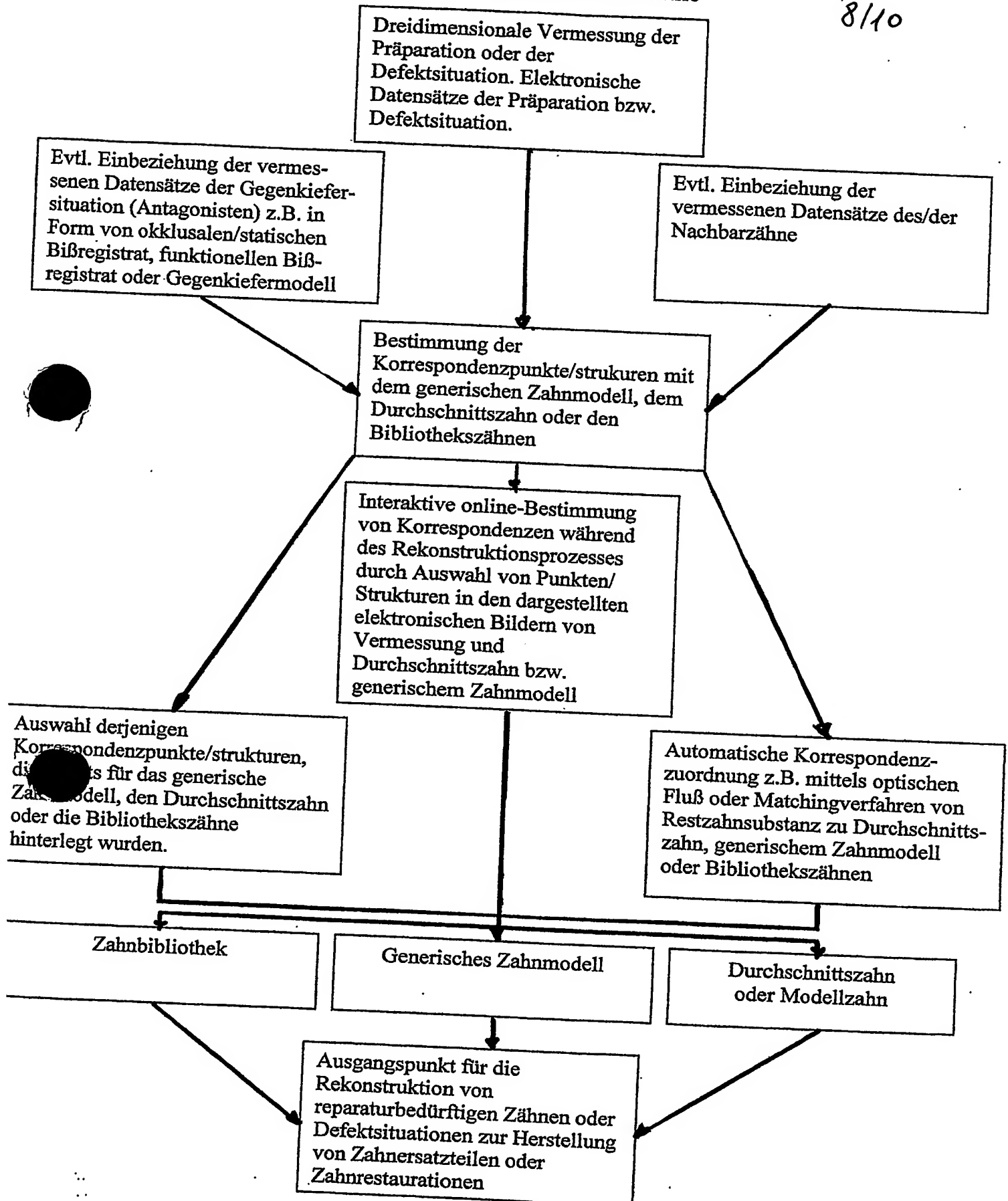
Fig. 13





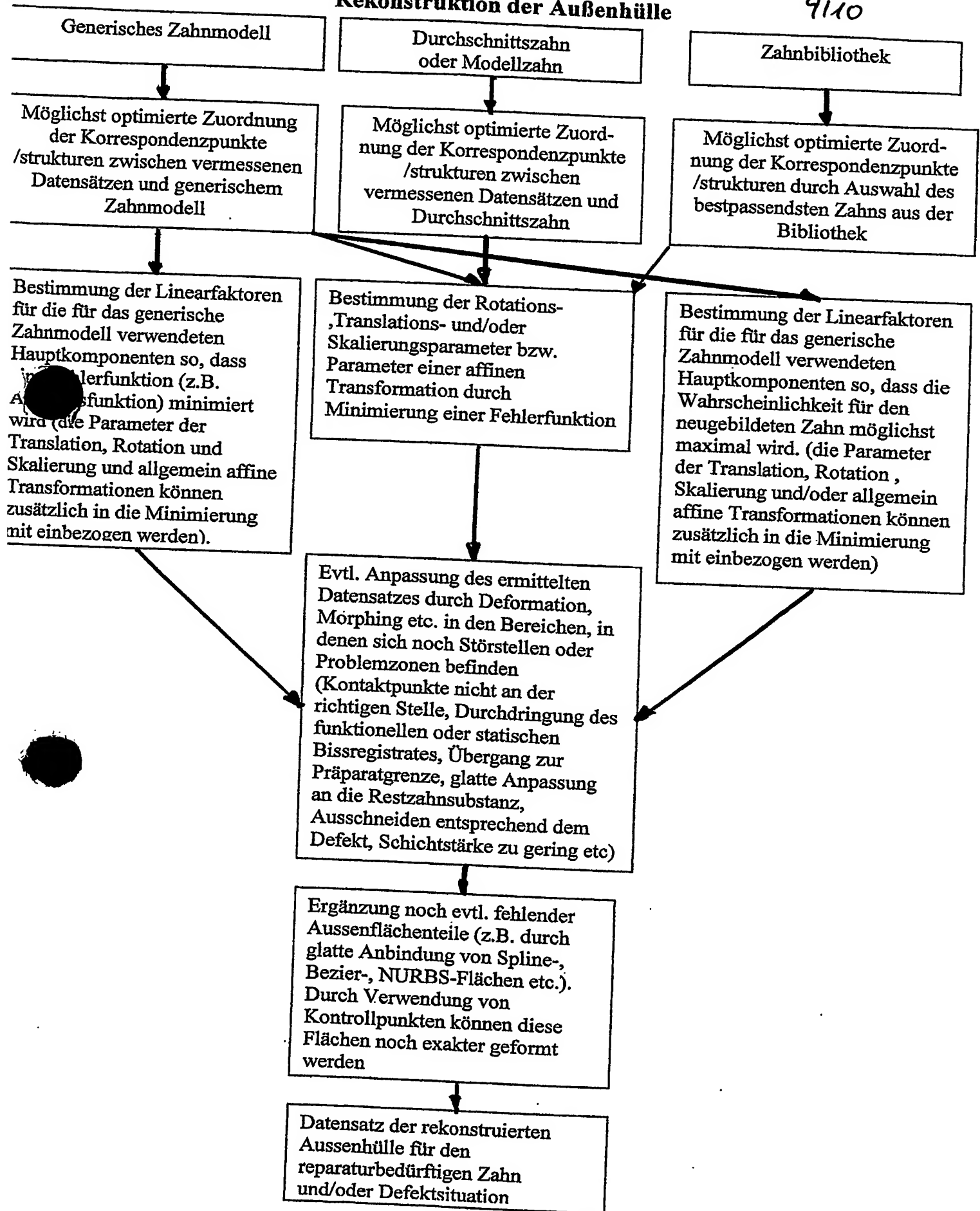
# Rekonstruktion der Außenhülle

8/10



## Rekonstruktion der Außenhülle

9110



## Anfertigung eines Zahnersatzteils oder einer Zahnrestauration

10/10

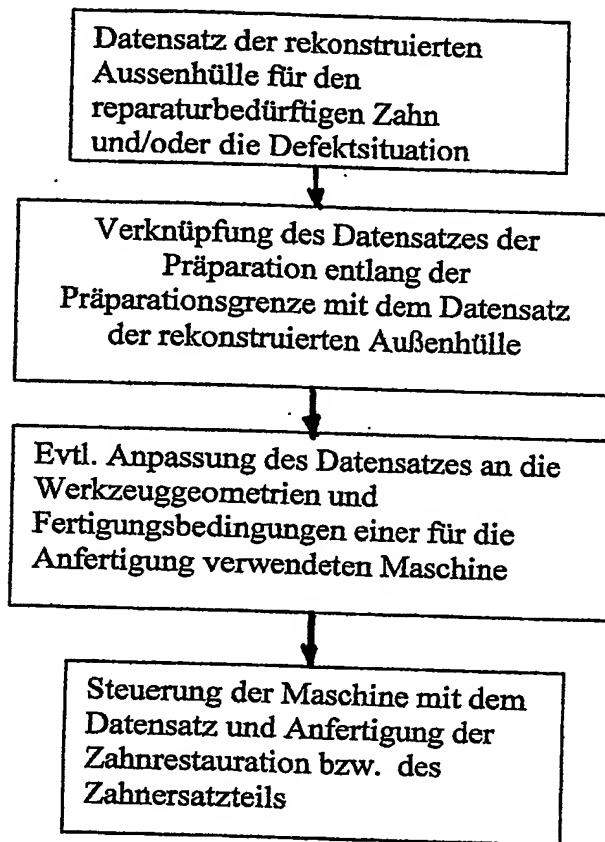


Fig. 17

## Anfertigung eines Zahnmodells

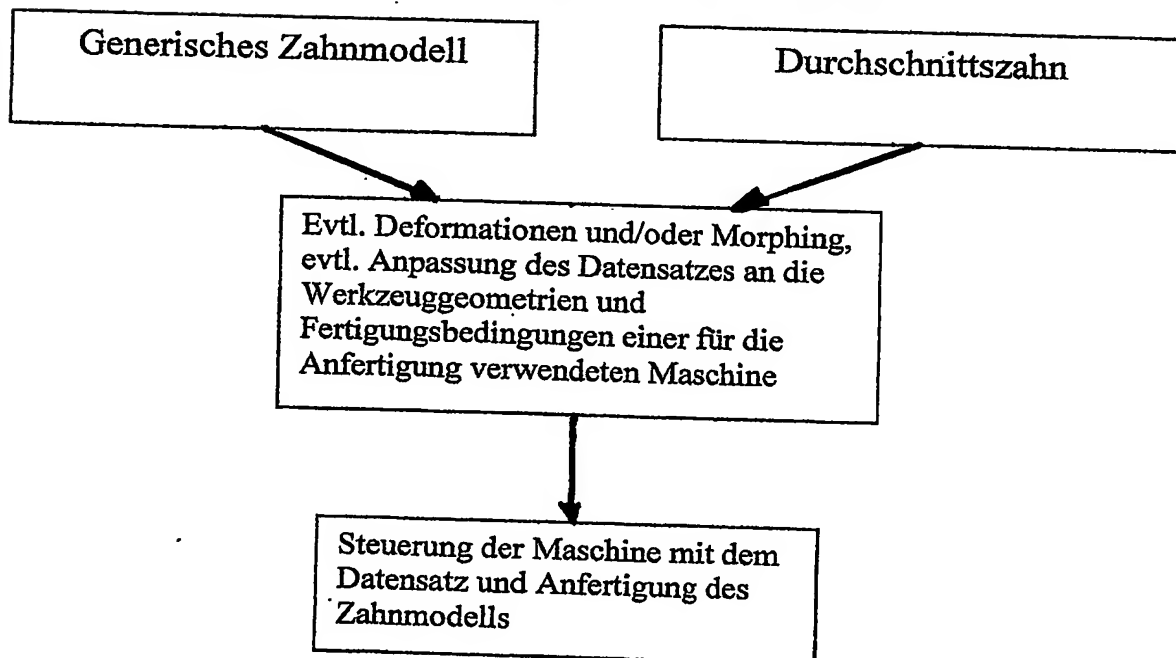


Fig. 18

## Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung von Zahnersatzteilen oder Zahnrestaurationen, bei dem zur Rekonstruktion eines reparaturbedürftigen Zahnes oder einer Defektsituation zumindest Teile der fehlenden Außenflächen der Zahnersatzteile oder Zahnrestaurationen durch Optimierung eines generischen Zahnmodell Datensatzes des gewünschten Zahntyps an die vorhandene Restzahnschubstanz und/oder Gegenbezahnung und/oder Nachbarzahnsituation und/oder Bissregistratur so ergänzt werden, dass die Linearfaktoren zumindest der wichtigsten Hauptkomponenten, wobei diese Komponenten durch Hauptachsenanalyseverfahren aus den elektronischen Datensätzen einer größeren Anzahl vermessener Zahnoberflächen ermittelt wurden, so variiert werden, dass die gewählten Optimierungskriterien durch Minimierung einer Fehlerfunktion erfüllt werden, und nach erfolgter Anpassung an die Restgebissituation und Fertigstellung des Datensatzes das rekonstruierte Zahnersatzteil oder die rekonstruierte Zahnrestauration in einer Maschine angefertigt wird.

Fig. 14

Elektronische Datensätze von  
vermessen Zählen  
(Bibliothekszähne)  
(geordnet z.B. nach Zahntyp)

7/10

Zuordnung der Korrespondenzen  
(Korrespondenzpunkte,  
Korrespondenzstrukturen) zwischen  
den einzelnen Datensätzen  
(z.B. automatisch für alle  
Meßpunkte mittels optischem Fluß)

Zuordnung der Korrespondenzen  
(Korrespondenzpunkte,  
Korrespondenzstrukturen) zwischen  
den einzelnen Datensätzen  
(z.B. automatisch für alle  
Meßpunkte mittels optischem Fluß)

Mittelwertbildung zwischen den  
einzelnen Koordinaten der  
jeweiligen Korrespondenzen liefert  
den Durchschnittszahn der  
betrachteten Datensätze

Hauptachsenanalyse der  
Zahndatensätze. Diese liefert  
Hauptkomponenten und Varianzen.

Differenz zwischen jedem  
einzelnen elektronischen Datensatz  
und dem Durchschnittszahn  
entsprechend der Korrespondenzen

Linearkombination zumindest der  
wichtigsten Hauptkomponenten  
(v.a. die mit hohen Varianzanteilen)

Hauptachsenanalyse der  
Differenzdatensätze. Diese liefert  
Hauptkomponenten und Varianzen

Linearkombination zumindest der  
wichtigsten Hauptkomponenten  
(mit hohen Varianzanteilen)  
Addition des  
Durchschnittszahns.

**Generisches Zahnmodell**

**Durchschnittszahn**

Zurverfügungstellung als Zahnmodell  
für Prothesenzähne, Übungsmodelle,  
Internetapplikation,  
Anschauungsmodelle,  
Untersuchungsmodelle,  
Druckerzeugnisse, Holographische  
Bilder, Aufwachsmodell etc.

Zurverfügungstellung für die  
Rekonstruktion und Herstellung  
von Zahnersatzteilen und  
Zahnrestorationen

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**